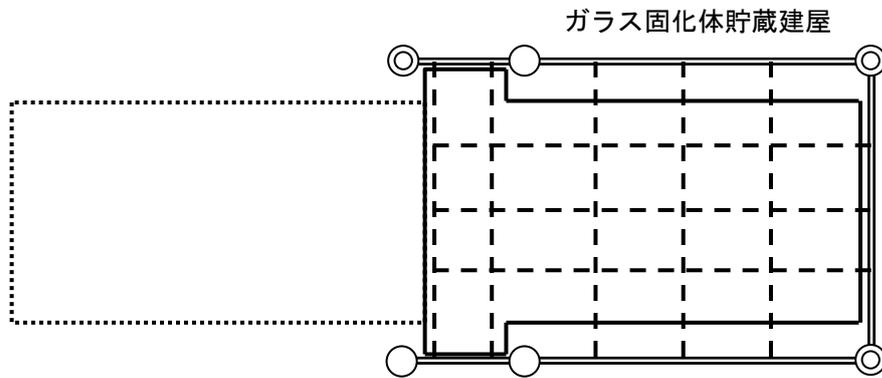
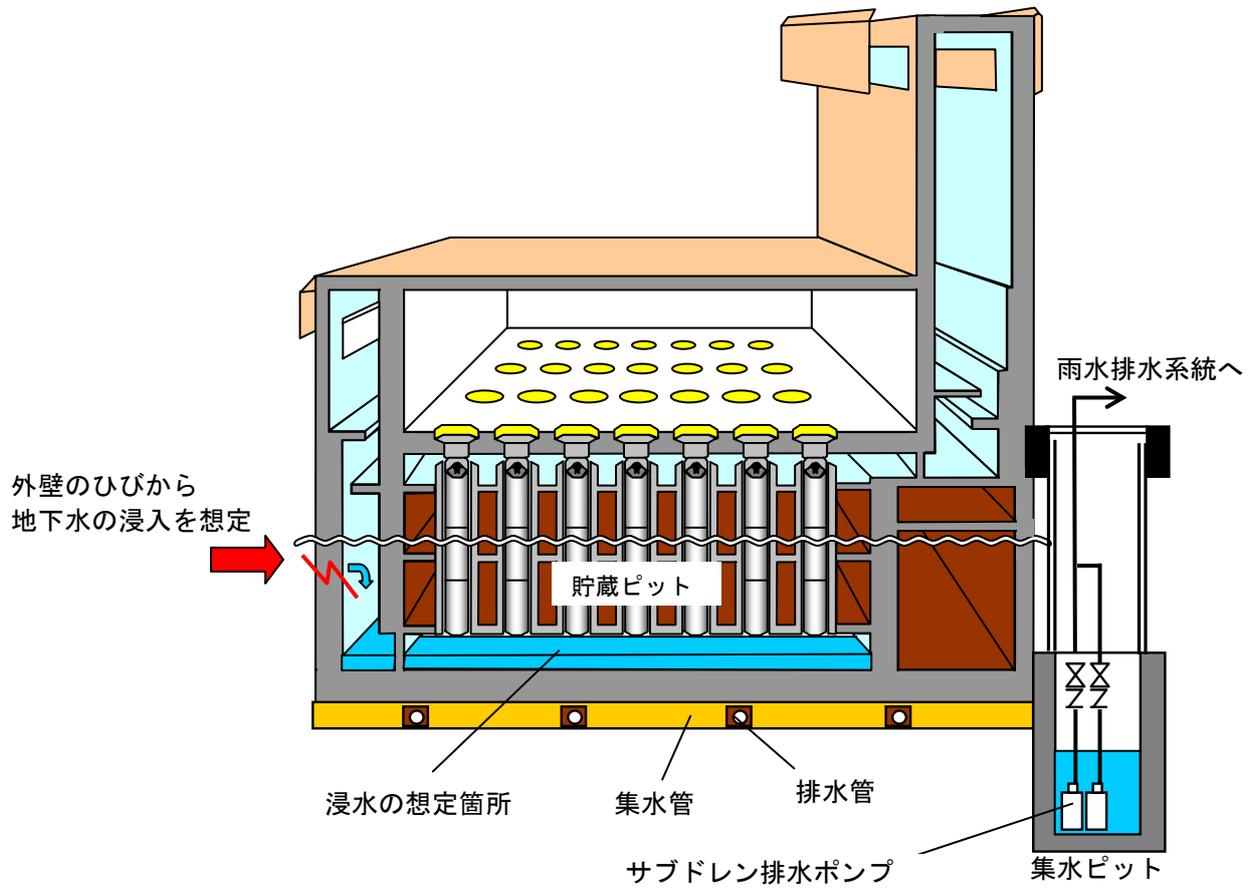


高レベル廃液ガラス固化建屋及びガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵ピットにおける
崩壊熱除去機能喪失に関連する機器等の耐震裕度

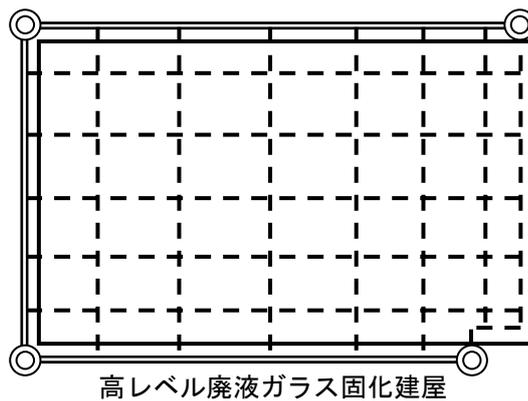
設置 建屋	設備		耐震 クラス ※1	損傷モード	単位	発生値(a)	評価 基準値(b)	耐震裕度 (b/a)	ミルシート適用/ 詳細評価によ る耐震裕度	備考
高レベル廃 液ガラス固 化建屋	建屋	高レベル廃液ガラス固化建屋	-	構造損傷	1.75 × Ss1に対して地震応答解析 を実施し、評価基準値と比較			1.75	-	-
	通風管、 収納管、 迷路板、 整流板、 ルーバ	通風管	A	構造損傷	-	0.09	1	11.11	-	-
		収納管	A	構造損傷	-	0.06	1	16.66	-	-
		迷路板(冷却空気入口シャフト側)	-(S1)	構造損傷	N/mm ²	74	100	1.35	2.89	ミルシート
		迷路板(冷却空気出口シャフト側)	-(S1)	構造損傷	N/mm ²	36	100	2.77	-	-
		冷却空気出口側のルーバ	-(S1)	構造損傷	N/mm ²	38	100	2.63	-	-
第1ガラス 固化体貯 蔵建屋(東 棟)	建屋	第1ガラス固化体貯蔵建屋	-	構造損傷	1.75 × Ss1に対して地震応答解析 を実施し、評価基準値と比較			1.75	-	-
	通風管、 収納管、 迷路板、 整流板、 ルーバ	通風管	A	構造損傷	N/mm ²	84	273	3.25	-	-
		収納管	A	構造損傷	-	0.16	1	6.25	-	-
		迷路板(冷却空気入口シャフト側)	-(S1)	構造損傷	N/mm ²	73	100	1.36	2.98	ミルシート
		迷路板(冷却空気出口シャフト側)	-(S1)	構造損傷	N/mm ²	55	100	1.81	-	-
		整流板(冷却空気入口シャフト側)(冷 却空気入口迷路板第1整流板～第4 整流板)	C(S1)	構造損傷	N/mm ²	70	100	1.42	3.08	ミルシート
		整流板(冷却空気出口シャフト側)(冷 却空気出口迷路板第1整流板～第2 整流板)	C(S1)	構造損傷	N/mm ²	49	100	2.04	-	-
		冷却空気出口側のルーバ	-(S1)	構造損傷	N/mm ²	55	100	1.81	-	-

※1:耐震バックチェック時の耐震クラスを記載

サブドレン排水設備概要図及び配置図



- 凡例
- ◎ : 集水ピット (サブドレン排水ポンプ設置)
 - : 集水ピット
 - : 集水管
 - : 排水管



建屋内への地下水の浸入による冷却空気流路閉塞までの時間余裕の評価

1. はじめに

高レベル廃液ガラス固化建屋及びガラス固化体貯蔵建屋の外壁にひびが発生し、地下水が建屋内に浸入することで、冷却空気流路が閉塞し、崩壊熱除去機能が喪失する状態に至るまでの時間余裕について評価する。

2. 評価方法

- (1) 地下水の発生量は、過去の集水ピットにおける排水実績の最大値を適用する。
- (2) 安全側に透水係数を考慮せず、発生した地下水の全量が建屋内に浸入すると想定する。
- (3) 地下水による閉塞対象は、建屋最下階の空間容積とし、冷却空気流路閉塞による崩壊熱除去機能喪失に至る建屋最下階の空間容積は、冷却空気流路が完全に閉塞する空間体積に、崩壊熱除去機能を維持できる閉塞割合を乗じた容積とする。

3. 評価結果

(1) 地下水の発生量の評価

a. 過去の集水ピットにおける排水実績

①高レベル廃液ガラス固化建屋集水ピットにおける排水実績

2006年4月から2012年3月の排水実績を確認した結果、最大は313m³/35日であった。

②ガラス固化体貯蔵建屋集水ピットにおける排水実績

2006年4月から2012年3月の排水実績を確認した結果、地下水の浸入に関係する2つの集水ピットにおける最大排水量は、それぞれ548m³/32日及び650m³/34日であり、その合計量をガラス固化体貯蔵建屋集水ピットにおける最大排水量とした。

b. 地下水の発生量の評価

地下水の発生量は、a.の結果から、次のとおり評価した。

高レベル廃液ガラス固化建屋:約0.38m³/h

ガラス固化体貯蔵建屋 :約1.51m³/h

c. 冷却空気流路閉塞までの時間余裕の評価

各建屋の冷却空気流路閉塞による崩壊熱除去機能喪失に至る建屋最下階の空間容積を b. の評価結果で除して、冷却空気流路閉塞までの時間余裕を評価した。

冷却空気流路閉塞までの時間余裕の評価結果は、下表に示すとおり、

高レベル廃液ガラス固化建屋:約 36 日

ガラス固化体貯蔵建屋:約 29 日

であった。

対象建屋	冷却空気流路閉塞による崩壊熱除去機能喪失に至る建屋最下階の空間容積 [m ³]	建屋内への地下水浸入量 [m ³ /h]	冷却空気流路閉塞までの時間余裕 [h]
高レベル廃液ガラス固化建屋	約 330	約 0.38	約 868 (約 36 日)
ガラス固化体貯蔵建屋	約 1,057	約 1.51	約 700 (約 29 日)

4. まとめ

3. の結果から、建屋の外壁にひびが発生し、地下水が建屋内に浸入することで、冷却空気流路が閉塞し、崩壊熱除去機能が喪失する状態に至るまでの時間余裕は、高レベル廃液ガラス固化建屋では約 36 日、ガラス固化体貯蔵建屋では約 29 日であった。

なお、上記のように地下水の浸入に対して十分な時間余裕があることは確認したが、事業者としてのさらなる安全性向上に対する取り組みの観点から、地下水排出対応のポンプを準備する。

ガラス固化体検査室の換気設備停止時のガラス固化体の温度評価

1. はじめに

ガラス固化体検査室（以下、「検査室」という。）にガラス固化体を仮置きした状態で、検査室の換気設備が長期間停止した場合に、ガラス固化体の温度上昇によりガラス固化体の閉じ込め機能への影響が発生する可能性について評価する。

2. 評価条件

換気設備停止時の温度上昇の評価は、検査室に仮置き可能な最大本数 13 本を評価条件とする。

また、仮置き架台に仮置きするガラス固化体については、発熱量 2.8kW のガラス固化体とする。

3. 計算モデル

3. 1 検査室温度計算

図 1 に、検査室温度計算の計算モデルを示す。

計算対象の体積（空気量）は、図 1 に示す検査室の体積とした。

熱源は、検査室内に仮置きされるガラス固化体（発熱量 2.8kW）、13 本として計算を行った。空気の初期温度は、29°Cとした。

また、各部は、以下のとおり設定した。

- ・室内空気:気体は 1 点近似
- ・壁面:24 分割の 1 次元伝熱計算

躯体壁面のうち 1 面の外部は地中と接しているため、温度固定境界条件とする
(その他壁面は熱伝達境界とする)

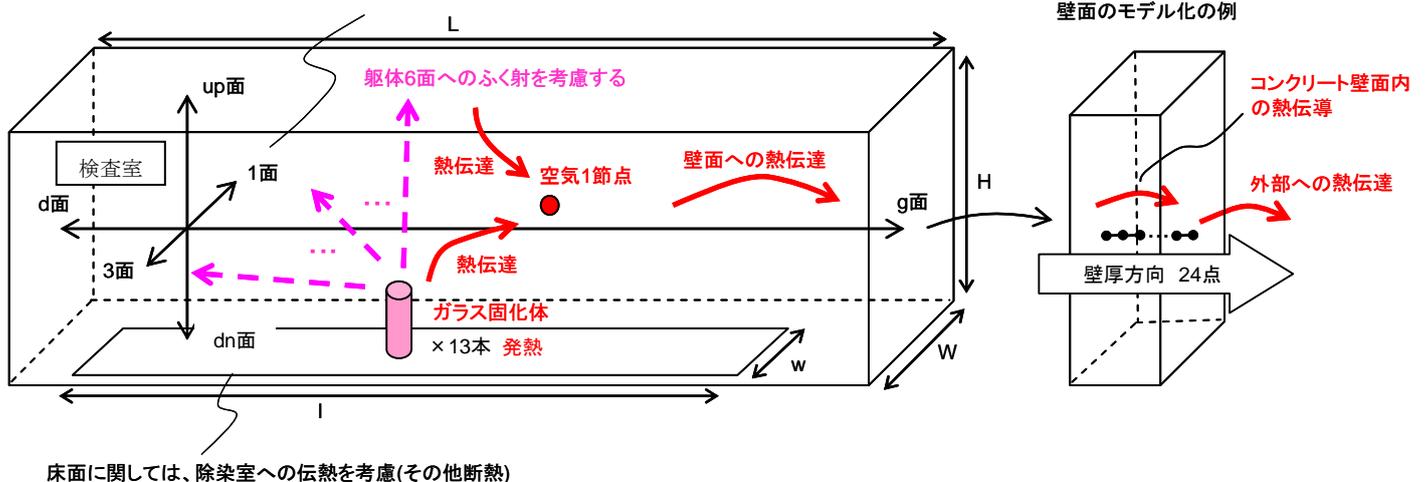


図 1 検査室温度計算の計算モデル

3. 2 ガラス固化体温度計算

図 2 に、ガラス固化体温度計算の計算モデルを示す。

検査室の空気温度計算結果、躯体壁面（6 面）温度計算結果から、ガラス固化体容器表面温度及び中心温度を一次元伝熱計算により算出する。

- (1) ガラス固化体の発熱量 2.8kW に対し、検査室の空気温度に対する熱伝達及び検査室躯体壁面（6 面）のふく射で除熱される場合のガラス固化体容器表面温度を算出する。
- (2) ガラス固化体が一様に発熱している熱伝導体と仮定し、ガラス固化体中心温度を算出する。
- (3) ガラス固化体容器表面温度の変化は検査室側の計算に反映する（各躯体壁面へふく射分を入熱し、残りを熱伝達分として空気に与える）。

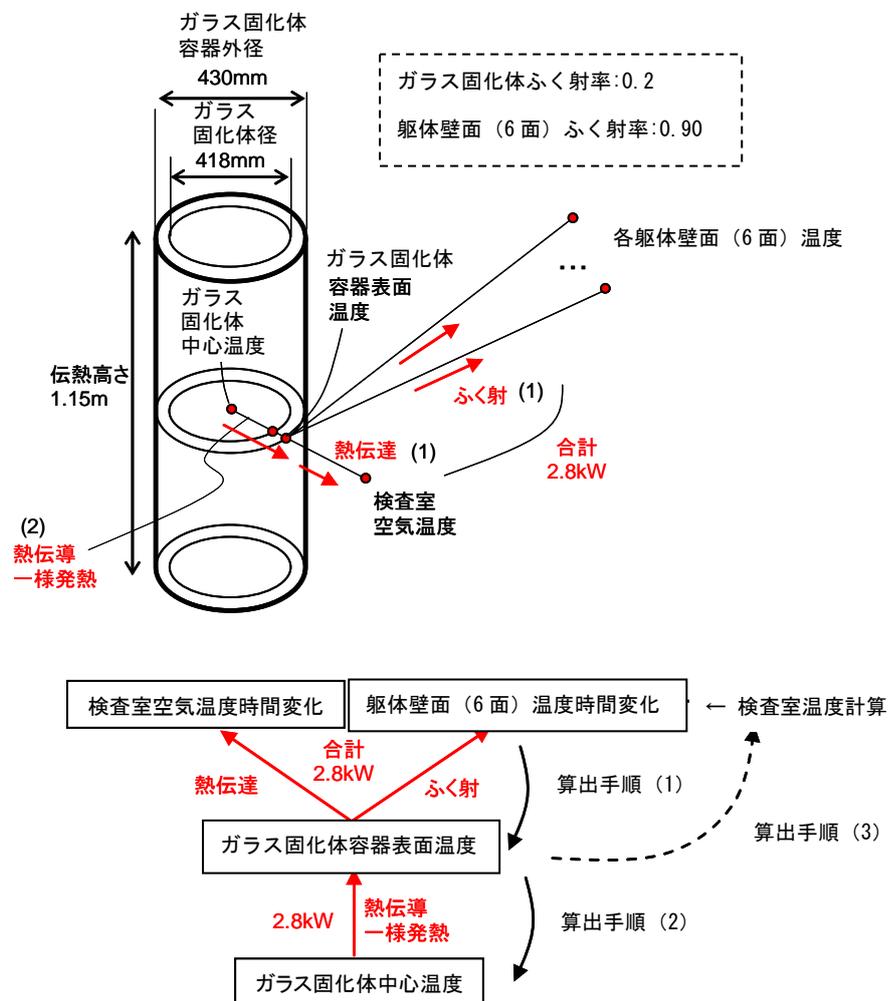


図 2 ガラス固化体温度計算の計算モデル

4. 計算結果

30 日間にわたり換気設備が停止したとしてもガラス固化体の失透（ガラス中の成分の 1 つまたは数種の成分によって構成される結晶体が、そのガラスの中で分離析出する現象）が始まる最低温度（約 600℃）に至ることはなかった。（図 3 参照）

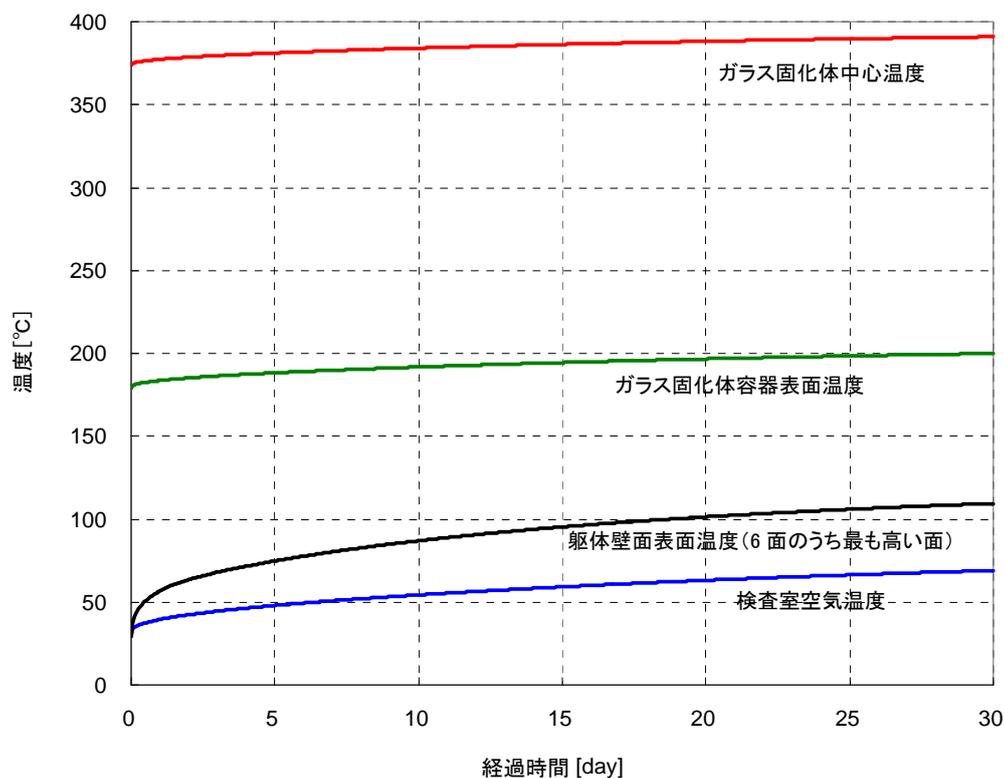


図 3 計算結果

5. まとめ

検査室にガラス固化体を仮置きした状態で、検査室の換気設備が長期間停止した場合においても、ガラス固化体のもつ閉じ込め機能に異常をきたすことはないことを確認した。

一般空気等のプロセス気体、計装用空気の供給停止による被ばく線量評価

1. はじめに

水素滞留防止に有効な一般空気等のプロセス気体、計装用空気の供給対象としている設備に内蔵する放射性物質が放出された場合の敷地境界外での被ばく線量を算出し、過度の放射線被ばくを及ぼす可能性について評価する。

2. 評価対象

一般空気等のプロセス気体、計装用空気により水素滞留防止を行う機器を設計及び工事の方法の認可申請書をもとに、表1のとおりまとめた。

アクティブ試験段階で対象とするのは、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋に設置している放射性物質を含む溶液を内蔵する機器であることから、表1の選定結果の欄において「対象」としている21機器が被ばく評価の対象である。

表1 プロセス気体、計装用空気により水素滞留防止を行う機器一覧

設備名	機器名	選定結果
溶解設備	溶解槽 A、B	対象外
	第1よう素追出し槽 A、B	
	第2よう素追出し槽 A、B	
	エンドピース酸洗浄槽 A、B	
	エンドピース水洗浄槽 A、B	
清澄・計量設備	中継槽 A、B ゲデオン A プライミングポット	
分離設備	補助抽出器	
	第2ウラン・プルトニウムモニタ流量計測ポット	
	ガンマモニタ流量計測ポット	
	ガンマモニタサイホンプライミングポット	
	ガンマモニタ計測ポット	
	溶解液供給槽ゲデオン A プライミングポット	
	溶解液供給槽流量計測ポット A	
	溶解液供給槽ゲデオン B プライミングポット	
	溶解液供給槽流量計測ポット B	
	溶解液供給槽予備ゲデオン A プライミングポット	

設備名	機器名	選定結果
分離設備	溶解液供給槽予備流量計測ポット A	対象外
	溶解液供給槽予備ゲデオン B プライミングポット	
	溶解液供給槽予備流量計測ポット B	
	抽出塔流量計測ポット B	
	抽出塔流量計測ポット C	
	第 1 洗浄塔流量計ポット B	
	第 1 洗浄塔溶液採取ポット	
	補助抽出器流量計ポット/補助抽出器エアリフトポンプバッファチューブ	
	TBP 洗浄塔流量計測ポット A	
	TBP 洗浄塔流量計測ポット B	
	第 1 一時貯留処理槽シール槽	
	分配設備	
第 2 アルファモニタ流量計測ポット		
第 2 アルファモニタサイフォンプライミングポット		
第 2 アルファモニタ計測ポット		
プルトニウム分配塔流量計測ポット A/プルトニウム分配塔エアリフトポンプ A バッファチューブ		
プルトニウム分配塔流量計測ポット B		
プルトニウム分配塔流量計測ポット C		
ウラン洗浄塔流量計測ポット B		
プルトニウム洗浄器エアリフトポンプバッファチューブ		
第 8 一時貯留処理槽シール槽		
分離建屋一時貯留処理設備	第 3 一時貯留処理槽流量計測ポット	対象外
	第 3 一時貯留処理槽予備流量計測ポット	
	第 9 一時貯留処理槽流量計測ポット	
	第 9 一時貯留処理槽予備流量計測ポット	
プルトニウム精製設備	アルファモニタ C 流量計測ポット	対象外
	アルファモニタ E 流量計測ポット	
	アルファモニタ E 供給ポット	
	アルファモニタ I 流量計測ポット	
	アルファモニタ I 供給ポット	
	プルトニウム溶液槽	

設備名	機器名	選定結果
プルトニウム精製設備	第 1 酸化塔シールポット	対象外
	第 1 脱ガス塔第 1 プライミングポット	
	第 1 脱ガス塔第 2 プライミングポット	
	抽出塔供給流量計測ポット A	
	第 1 脱ガス塔シールポット	
	抽出塔供給流量計測ポット B	
	逆抽出塔流量計測ポット/逆抽出塔流量計測ポットバッファチューブ	
	ウラン洗浄塔供給流量計測ポット	
	補助油水分離槽供給流量計測ポット	
	TBP 洗浄器バッファチューブ	
	第 2 酸化塔供給ポット	
	補助油水分離槽プライミングポット	
	プルトニウム洗浄器	
	第 2 酸化塔シールポット	
	第 2 脱ガス塔プライミングポット B/第 2 脱ガス塔シールポット	
	油分リサイクルポット	
	プルトニウム濃縮缶供給槽プライミングポット	
	プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン A プライミングポット	
プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン B プライミングポット		
高レベル廃液濃縮設備	アルカリ廃液濃縮缶	対象
	アルカリ濃縮廃液貯槽	
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備	廃ガス洗浄液槽	
	廃ガス洗浄器	
	第 1 吸収塔サンプリングポット	
	第 2 吸収塔サンプリングポット	
	廃ガス洗浄液槽サンプリングポット	
	供給液槽 A サンプリングポット A	

設備名	機器名	選定結果
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備	供給液槽 B サンプルングポット A	対象
	供給液槽 A サンプルングポット B	
	供給液槽 B サンプルングポット B	
	高レベル廃液計量ポット A、B	
低レベル固体廃棄物貯蔵設備	貯蔵プール A、B	
分析設備	分析残液受槽	
	分析残液希釈槽	
	回収槽	
	分析済溶液受槽	
	分析済溶液供給槽	
	抽出液受槽	

3. 評価手法

事故により生じたエネルギーによって放射性物質が気相へ移行する割合や、設備により除染される割合、人間が呼吸しうる粒径の割合等をファクターとして考慮することによって放射性物質の放出量を簡易的に評価する手法である 5 因子法¹⁾を用いて放射性物質放出量を評価する。以下に計算式を示す。

$$ST_i = MAR_i \times DR \times ARF_i \times LPF_i \times RF \quad (1)$$

$$MAR_i = C_i \times M$$

ここで、

ST_i (Source Term) : 元素グループ i の放射性物質放出量 (Bq)

MAR_i (Material at Risk) : 対象機器等における元素グループ i の放射性物質質量 (Bq)

DR (Damage Ratio) : MAR のうち、各事象で影響を受ける割合 (-)

ARF_i (Airborne Release Fraction) : 元素グループ i の放射性物質の気相への移行割合 (-)

LPF_i (Leak Path Factor) : 元素グループ i の放出経路における放射性物質の低減割合 (-)

RF (Respirable Fraction) : 吸入摂取に寄与する割合 (-)

C_i : 対象機器等における元素グループ i の濃度 (Bq/m³ または Bq/kg)

M : 対象機器等における溶液量 (m³) または粉末量 (kg)

元素グループは、再処理事業指定申請書において、気体廃棄物の推定放出量の評価対象として示しているもののうち、事故時に支配的になる元素として、以下の 7 種類のグループを設定した。

- Ru/Rh
- Cs/Ba
- その他 FP
- Pu
- Am/Cm
- U
- Np

放射性物質吸入による敷地境界外の実効線量 D_I (Sv) は、放射性物質放出量に相対濃度、呼吸率及び実効線量換算係数を乗じて求める。以下に計算式を示す。

$$D_I = \sum_i H_i \cdot B \cdot \chi / Q \cdot ST_i \quad (2)$$

ここで、

H: 実効線量換算係数 (Sv/Bq)

B: 呼吸率 (m^3/s)

χ / Q : 相対濃度 (s/m^3)

4. 評価条件

4. 1 燃料仕様

表 2 に示す燃料仕様に基づき、燃焼計算コード ORIGEN2.1 を用いて各核種の放射エネルギー、重量を計算した。

表 2 被ばく線量評価に用いた燃料仕様

燃料型式	PWR
初期濃縮度	4.5wt%
燃焼度	45,000MWd/t \cdot U _{Pr}
比出力	38MW/t \cdot U _{Pr}
冷却年数	4年

4. 2 MAR の設定

機器毎に元素グループに応じた放射能濃度が記載された資料は存在しないことから、設計及び工事の方法の認可申請書の標準化学処理工程図に記載の放射エネルギー、U 及び Pu 量並びに再処理事業指定申請書に記載の移行割合等から計算する。

4. 3 DR の設定

DR は、事故時に発生する圧力等により放射性物質放出に寄与する割合であり、事故の様態により異なる。しかし、安全側に DR = 1（機器内または対象となる場所に存在する放射性物質の全量が事象に寄与）と設定する。

4. 4 ARF の設定

ARF は、爆発により放射性物質が気相に移行する割合であり、爆発の規模により異なる。再処理事業指定申請書においては水素爆発の評価はないため、NUREG/CR-6410¹⁾から 1×10^{-4} を引用する。

4. 5 LPF の設定

本評価では上記の 2 ケースを選定する。

①耐震 A クラスの換気設備の静的機能維持を期待する場合（ケース 1）

LPF については、耐震 A クラスの換気設備の静的機能が維持される場合は、放射性物質は高性能粒子フィルタを介して主排気筒から放出されることが考えられることから、高性能粒子フィルタ 1 段分の除去効率である $LPF = 1 \times 10^{-3}$ を設定する。耐震 B クラス以下の換気設備を有する建屋については、地上放散を想定することとし、セル及び建屋の LPF をそれぞれ 0.1 として、互いの LPF を乗じて $LPF = 1 \times 10^{-2}$ を一律設定する²⁾。

②換気設備を期待しない場合（ケース 2）

すべての建屋について地上放散を想定する場合は、セル及び建屋の LPF をそれぞれ 0.1 として、互いの LPF を乗じて $LPF = 1 \times 10^{-2}$ を一律設定する²⁾。

4. 6 RF の設定

RF は、吸入摂取に寄与する割合であり、エアロゾル等の形態で浮遊する放射性物質の粒径に依存するパラメータである。事故時の放射性物質の粒径に関するデータはほとんどなく、定量的に設定することは困難であることから、ここでは安全側に RF = 1（すべての粒子が吸入され被ばくに寄与する）と設定する。

4. 7 H の設定

H は ICRP Pub. 72³⁾ から核種毎の係数を調査し、元素グループ毎に設定した。結果を表 3 に示す。

表 3 実効線量換算係数

元素グループ	実効線量換算係数	単位
Ru/Rh	3.30×10^{-8}	Sv/Bq
Cs/Ba	5.93×10^{-9}	Sv/Bq
その他 FP	5.26×10^{-8}	Sv/Bq
Pu	7.07×10^{-5}	Sv/ α Bq
Am/Cm	3.04×10^{-5}	Sv/ α Bq
U	9.65×10^{-6}	Sv/ α Bq
Np	2.30×10^{-5}	Sv/ α Bq

4. 8 B 及び χ/Q の設定

B は、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に記載の $1.2\text{m}^3/\text{h}$ とした。また、 χ/Q は、「再処理施設の設計基準事象選定」⁴⁾ に記載の値を用いた。(表 4 参照)

表 4 相対濃度

放出点	$\chi/Q(\text{s}/\text{m}^3)$
分離建屋	7.9×10^{-5}
高レベル廃液ガラス固化建屋	9.3×10^{-5}
第 1 ガラス固化体貯蔵建屋	1.0×10^{-3}
低レベル廃液処理建屋	2.0×10^{-4}
低レベル廃棄物処理建屋	1.4×10^{-4}
チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	1.0×10^{-3}
ハル・エンドピース貯蔵建屋	4.0×10^{-4}
第 1 低レベル廃棄物貯蔵建屋	4.0×10^{-4}
第 2 低レベル廃棄物貯蔵建屋	1.0×10^{-3}
分析建屋	1.0×10^{-4}
主排気筒	1.3×10^{-6}

5. 評価結果

式(1)及び(2)を用いて線量評価を行った。ケース 1、ケース 2 の結果をそれぞれ表 5 及び表 6 に示す。この評価結果から、放射性物質を含む溶液を内蔵する機器の放射性物質が放出された場合の敷地境界外での被ばく線量はケース 1 で 0.0724mSv、ケース 2 で 0.106mSv となった。

表 5 計装用圧縮空気等で水素滞留防止を行う機器
被ばく線量評価結果 (ケース 1)

設備名	機器名	影響 (mSv)
高レベル廃液濃縮設備	アルカリ廃液濃縮缶	1.97×10^{-7}
	アルカリ濃縮廃液貯槽	3.87×10^{-6}
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備	廃ガス洗浄液槽	2.72×10^{-5}
	廃ガス洗浄器	6.83×10^{-5}
低レベル固体廃棄物貯蔵設備 ハル・エンドピース貯蔵系	貯蔵プール A、B	1.61×10^{-7}
分析設備	分析残液受槽	6.12×10^{-3}
	分析残液希釈槽	6.12×10^{-3}
	回収槽	3.64×10^{-2}
	分析済溶液受槽	1.30×10^{-2}
	分析済溶液供給槽	3.89×10^{-3}
	抽出液受槽	6.72×10^{-3}
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備	第 1 吸収塔サンプリングポット	4.06×10^{-8}
	第 2 吸収塔サンプリングポット	4.06×10^{-8}
	廃ガス洗浄液槽サンプリングポット	2.72×10^{-9}
	供給液槽 A サンプリングポット A	1.73×10^{-6}
	供給液槽 B サンプリングポット A	1.73×10^{-6}
	供給液槽 A サンプリングポット B	2.55×10^{-6}
	供給液槽 B サンプリングポット B	2.55×10^{-6}
	高レベル廃液計量ポット A	6.38×10^{-7}
	高レベル廃液計量ポット B	6.38×10^{-7}
	合計	0.0724

表 6 計装用圧縮空気等で水素滞留防止を行う機器
被ばく線量評価結果 (ケース 2)

設備名	機器名	影響 (mSv)
高レベル廃液濃縮設備	アルカリ廃液濃縮缶	1.20×10^{-4}
	アルカリ濃縮廃液貯槽	2.77×10^{-3}
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備	廃ガス洗浄液槽	1.95×10^{-2}
	廃ガス洗浄器	4.64×10^{-3}
低レベル固体廃棄物貯蔵設備 ハル・エンドピース貯蔵系	貯蔵プール A、B	1.61×10^{-7}
分析設備	分析残液受槽	6.12×10^{-3}
	分析残液希釈槽	6.12×10^{-3}
	回収槽	3.64×10^{-2}
	分析済溶液受槽	1.30×10^{-2}
	分析済溶液供給槽	3.89×10^{-3}
	抽出液受槽	6.72×10^{-3}
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備	第 1 吸収塔サンプリングポット	2.76×10^{-6}
	第 2 吸収塔サンプリングポット	2.76×10^{-6}
	廃ガス洗浄液槽サンプリングポット	1.95×10^{-6}
	供給液槽 A サンプリングポット A	1.24×10^{-3}
	供給液槽 B サンプリングポット A	1.24×10^{-3}
	供給液槽 A サンプリングポット B	1.83×10^{-3}
	供給液槽 B サンプリングポット B	1.83×10^{-3}
	高レベル廃液計量ポット A	4.57×10^{-4}
	高レベル廃液計量ポット B	4.57×10^{-4}
	合計	0.106

6. まとめ

一般空気等のプロセス気体、計装用空気により水素滞留防止を行う機器の水素滞留防止機能が喪失し、内蔵する放射性物質が放出されることを想定したとしても、一般公衆に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれがないことを確認した。

参考文献

- 1) Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook, NUREG/CR-6410, 1998.
- 2) Elizabeth M. Flew, B.A. J. Lister, “Assessment of the potential release of radioactivity from installations at AERE, HARWELL. *Implications for Emergency Planning*”, IAEA-SM-119/7, p653, 1969.
- 3) “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients”, ICRP Publication 72. (1996)
- 4) 再処理施設の設計基準事象選定(J/M-1004 改 3)、日本原燃株、三菱重工業株 (平成 13 年 4 月)

ガラス溶融炉から外部への放射性物質の漏えい時の被ばく線量評価

1. はじめに

全交流電源喪失時にガラス溶融炉から外部への放射性物質の漏えいが発生した場合の敷地境界外での被ばく線量評価を行い、過度の放射線被ばくを及ぼす可能性について評価する。

2. 放出放射線量評価の概要

放出放射線量評価方法の概念図を図 1 に示す。ガラス溶融炉から外部への放射性物質の漏えいは、以下の過程を想定している。

- ① ガラス溶融炉はインリーク構造であるため、全交流電源喪失により、高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備が停止すると、ガラス溶融炉内が高温であるため、ガラス溶融炉内の圧力が上昇し、炉内の揮発性核種は固化セル内に移行する。安全側の評価として移行した核種は瞬時に固化セル空気と完全混合すると仮定する。
- ② 全交流電源喪失により、セル内クーラが停止すると、固化セル内機器類の余熱によりセル内温度が上昇する。電源が復旧するまでの時間は、膨張したセル内空気の分は固化セル圧力放出系へ移行する。電源が復旧するまでの時間としては、これまでの安全評価では短時間（30 分）としていたが、本評価では「福島第一、第二原子力発電所等の事故を踏まえた再処理施設の緊急安全対策に係る実施状況報告」（平成 23 年 5 月 30 日付け報告）に示した電源車からの給電が行われるまでの時間（16 時間）を用いる。
- ③ 固化セル圧力放出系へ移行した放射性物質は、高性能粒子フィルタで除染された後、主排気筒へ移行する。固化セル圧力放出系は揮発性のルテニウムの除染能力を有していないことから、揮発性のルテニウムの被ばく影響が支配的となる。
- ④ 電源復旧後は、固化セル圧力放出系の逆止ダンパが閉止し、固化セル圧力放出系からの放射性物質の放出が止まり、固化セル換気系からの排気として、主排気筒から放出する。

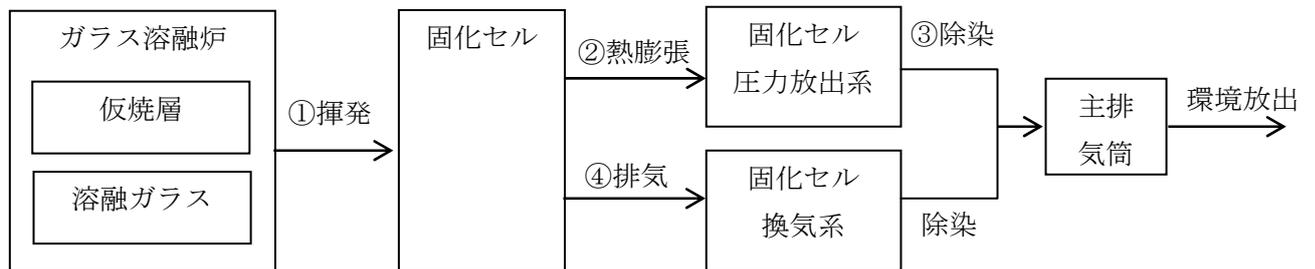


図1 放出放射エネルギー評価方法の概念図

3. ガラス溶融炉から固化セルへの放射性物質の移行

ガラス溶融炉から高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備への放射性物質の移行は、通常運転時には、そのほとんどが蒸発及び仮焼過程^{*1}において生じる。

長時間の全交流電源喪失時には、仮焼層（仮焼過程で溶融ガラス上部に形成される層）の消失^{*2}が想定されるが、仮焼層消失により放射性物質の移行が停止するのではなく、溶融ガラス表面からもその温度に応じた核種の揮発による放射性物質の移行が考えられる。

これらを踏まえ、ガラス溶融炉から固化セルへの放射性物質の移行については、仮焼層からの移行と溶融ガラスからの移行に分けて評価した。

*1: ガラス溶融炉上部から投入されるガラス原料と廃液の混合物を加熱することにより、溶融ガラス表面において、廃液の水分の蒸発、脱硝、酸化等の反応が起こるとともに、ガラス原料が溶融し廃棄物成分と混ざり合う過程。

*2: 全交流電源喪失時には、廃液及びガラス原料の供給が停止し、仮焼層を形成する成分の供給がなくなり、さらに溶融ガラスからの熱伝導により仮焼層が溶融する。

(1) 仮焼層からの放射性物質の移行

仮焼層からの放射性物質の移行の評価については、実規模モックアップ試験施設において実施したシャットダウン試験（全交流電源喪失時に溶融炉から移行する揮発性物質の割合を確認するために実施した試験）の結果をもとに行った。

シャットダウン試験で得られたルテニウム、セシウムの移行割合を図2に示す。

実規模モックアップ試験施設は、非放射性物質を取扱う設備であること

から、実際のガラス溶融炉の状況との違いである崩壊熱については電極加熱量で模擬して試験を行った。

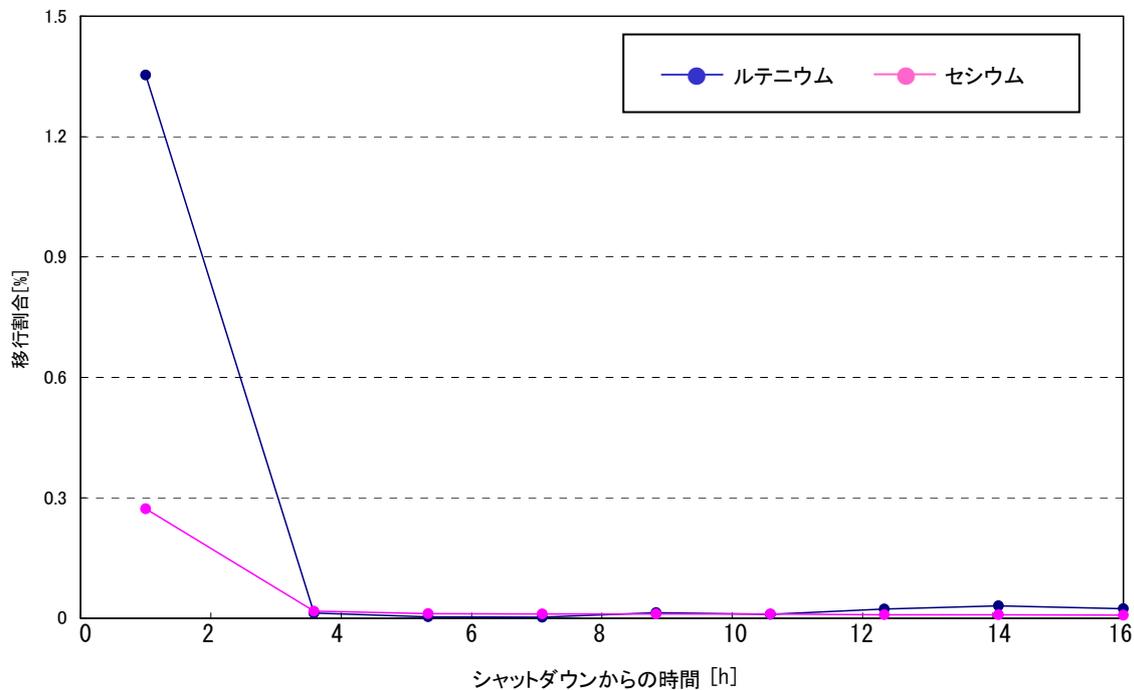


図 2 シャットダウン試験におけるルテニウム、セシウムの移行割合の推移

図 2 に移行割合の試験結果を示す。廃ガスサンプリングで求めた本試験結果と、別途確認した廃ガス洗浄液分析結果との関係で安全側に補完した結果、16 時間分の廃ガスへの累積移行割合はルテニウムで約 7.7%、セシウムで約 1.9%となった。

なお、図 2 の結果には溶融ガラス表面からの揮発も含まれていると考えられるが、安全側に全て仮焼層から揮発したものと想定して評価した。

仮焼層から移行する放射エネルギーを算出するため、通常運転時の放射性物質の移行割合（ルテニウムが 20%、セシウムが 5%）から、累積移行割合に相当する廃液供給時間を算出した。

その結果、ルテニウムは 0.386 時間、セシウムは 0.387 時間であった。

累積移行割合に相当する廃液供給時間の算出結果は、セシウムの値が大きいため、仮焼層から固化セルへ移行する放射エネルギーの評価には、セシウムの値（0.387 時間）を用いることとした。

仮焼層から固化セルに移行する放射エネルギーは、供給廃液中の放射エネルギーに再処

理事業指定申請書の移行率を乗じて求めた。結果を表 1 に示す。

表 1 仮焼層から固化セルに移行する放射エネルギー（ガラス溶融炉 1 基分）

核種	供給廃液中の放射能[Bq/h]	供給時間[h]	移行率 α [-]	固化セル内への放出量[Bq]
Sr-90	<input type="text"/>	0.387	<input type="text"/>	7.23×10^{11}
Ru-106	<input type="text"/>		<input type="text"/>	2.05×10^{13}
Cs-137	<input type="text"/>		<input type="text"/>	1.04×10^{13}
Am-241	<input type="text"/>		<input type="text"/>	3.28×10^{10}
Cm-244	<input type="text"/>		<input type="text"/>	8.81×10^{10}

(2) 溶融ガラス表面からの放射性物質の移行

溶融ガラス表面からの放射性物質の移行の評価については、ガラス溶融炉解析コードから得られた全交流電源喪失時の溶融ガラス温度と以下の揮発速度式¹⁾から算出した。

核種放出量： $a \times A$

a : 核種の揮発速度 [$\text{g}/\text{m}^2\text{s}$]

ストロンチウム揮発速度式： $a = 2.78b \times 10^4 \times \exp(-2.90 \times 10^4/T)$

ルテニウム揮発速度式： $a = 1.39b \times 10^8 \times \exp(-2.90 \times 10^4/T)$

セシウム揮発速度式： $a = 2.78b \times 10^9 \times \exp(-2.90 \times 10^4/T)$

アメリカウム揮発速度式： $a = 2.78b \times 10^4 \times \exp(-2.90 \times 10^4/T)$

キュリウム揮発速度式： $a = 2.78b \times 10^4 \times \exp(-2.90 \times 10^4/T)$

b : 溶融ガラス中の核種の質量濃度 [kg/kg]

T : 溶融ガラス表面温度 [K] (安全側に解析コードにおける主電極上端温度とした。)

A : 溶融ガラス表面積 [m^2]

各核種の累積放出量を図 3 に示す。

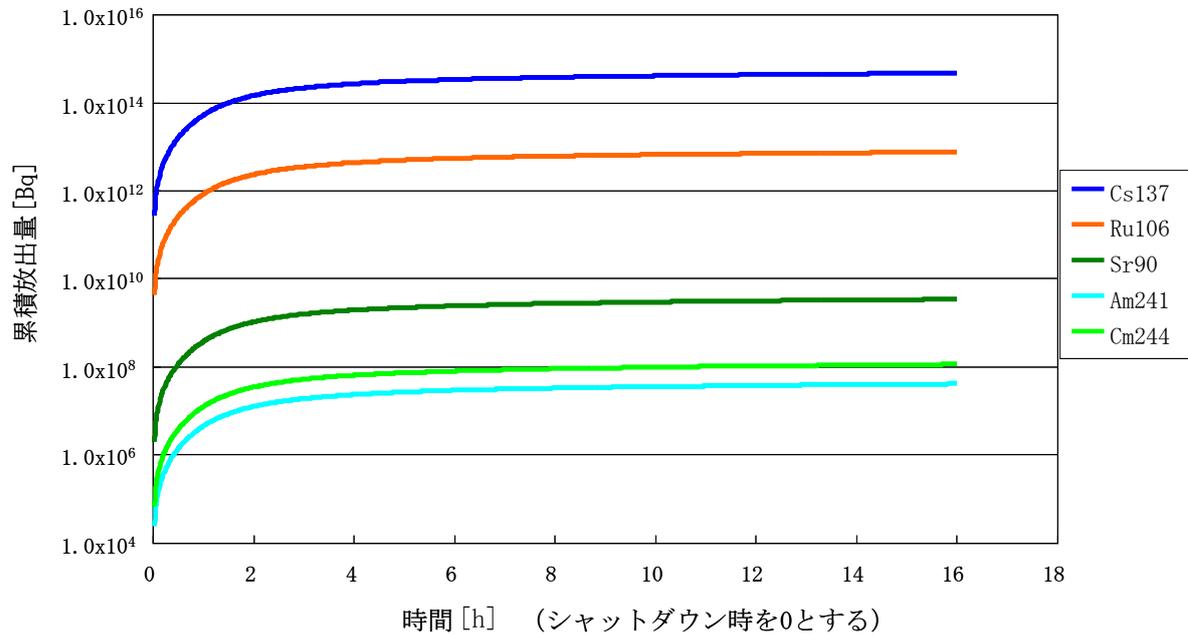


図3 ガラス溶融炉の溶融ガラス表面からの各核種の累積放出量
(主電極上端ガラス温度をもとに計算)

4. 固化セル空気の熱膨張

固化セル圧力放出系から外部へ放出される空気量を評価するために、熱による固化セル内空気の膨張量を算出した。全交流電源喪失時の固化セル空気の熱膨張は、図4に示す一次元伝熱計算モデルより算出した。長時間の評価を行うため、それぞれの機器に熱容量を設定し、伝熱計算により表面温度を可変とした。

一方、熔融ガラス表面からの揮発は、時間の経過とともに揮発速度は小さくなるものの、ある程度揮発が継続することから、任意の時間における移行率[Bq/h]は下式のとおりとし、これを 0～16 時間で積分した値を全交流電源喪失時の移行量とした。

$$\begin{aligned} & \text{熔融ガラスからの移行率[Bq/h]} \\ & = \text{固化セルへの累積放出量[Bq]} \times (\text{空気放出量[Nm}^3\text{/h]}/\text{固化セル初期空気量[Nm}^3\text{)}) \end{aligned}$$

また、固化セル内に移行した放射エネルギーのうち、全交流電源喪失中は上記の考え方に基つきセル内空気の熱膨張分に相当する量が固化セル圧力放出系から放出されるものとした。電源復旧後は、仮焼層及び熔融ガラスから固化セルに移行した放射エネルギーのうち、電源喪失中に固化セル圧力放出系から放出された量を除いた放射エネルギーが、固化セル換気系を經由して放出されるものとした。さらに、放出される経路に応じた除去効率を考慮した。

固化セル圧力放出系及び固化セル換気系からの放出放射エネルギーをそれぞれ表 2 及び表 3 に、両者の合計量及び実効線量を表 4 に示す。実効線量は、0.142mSvであった。

なお、実効線量は下式より算出した。

$$D_I = \sum Q_{Ii} \times R \times \chi / Q \times (H_{50})_i$$

ここで、 D_I : 実効線量[Sv]

Q_{Ii} : 放射性核種 i の大気放出量[Bq]

R : 人間の呼吸率 $3.33 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$

χ / Q : 相対濃度 $1.3 \times 10^{-6} \text{s}/\text{m}^3$

$(H_{50})_i$: 放射性核種 i の吸入による実効線量換算係数[Sv/Bq]

表 2 固化セル圧力放出系からの放出放射エネルギー

核種	仮焼層からの 放出放射エネルギー [Bq]	溶融ガラス表面か らの放出放射エネルギー [Bq]	合計量[Bq]	除去効率 [%]	環境への 放出放射エネルギー [Bq]
Sr-90	1.27×10^{11}	2.01×10^8	1.27×10^{11}	99.9	1.27×10^8
Ru-106	3.60×10^{12}	6.97×10^{11}	4.30×10^{12}	0*3	4.30×10^{12}
Cs-137	1.84×10^{12}	2.80×10^{13}	2.98×10^{13}	99.9	2.98×10^{10}
Am-241	5.78×10^9	8.75×10^6	5.79×10^9	99.9	5.79×10^6
Cm-244	1.55×10^{10}	2.42×10^7	1.55×10^{10}	99.9	1.55×10^7

*3:揮発性ルテニウムに対する高性能粒子フィルタの除去効率は、200°Cにおいて99.9%以上であると報告されていること²⁾を踏まると、被ばく影響は一桁以上低下することが見込めるが、ここでは保守的に考慮しない。

表 3 固化セル換気系からの放出放射エネルギー

核種	仮焼層からの 放出放射エネルギー [Bq]	溶融ガラス表面か らの放出放射エネルギー [Bq]	合計量[Bq]	除去効率 [%]	環境への 放出放射エネルギー [Bq]
Sr-90	1.32×10^{12}	8.92×10^9	1.33×10^{12}	99.999	1.33×10^7
Ru-106	3.73×10^{13}	3.10×10^{13}	6.83×10^{13}	99	6.83×10^{11}
Cs-137	1.90×10^{13}	1.24×10^{15}	1.26×10^{15}	99.999	1.26×10^{10}
Am-241	5.99×10^{10}	3.89×10^8	6.03×10^{10}	99.999	6.03×10^5
Cm-244	1.61×10^{11}	1.08×10^9	1.62×10^{11}	99.999	1.62×10^6

表 4 全交流電源喪失時における放出放射エネルギーの総量及び実効線量

核種	放出放射エネルギー [Bq]	実効線量換算係数 ³⁾ [Sv/Bq]	実効線量 [mSv]
Sr-90	1.40×10^8	1.6×10^{-7}	9.70×10^{-6}
Ru-106	4.98×10^{12}	6.6×10^{-8}	1.42×10^{-1}
Cs-137	4.24×10^{10}	4.6×10^{-9}	8.44×10^{-5}
Am-241	6.39×10^6	4.2×10^{-5}	1.16×10^{-4}
Cm-244	1.71×10^7	2.7×10^{-5}	2.00×10^{-4}
合計	—	—	0.142

6. まとめ

長時間の全交流電源喪失により、ガラス溶融炉内の放射性物質が固化セル圧力放出系及び固化セル換気系を経由して主排気筒から放出された場合でも、一般公衆に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれがないことを確認した。

参考文献

- 1) ”核燃料施設の事故影響評価手法に関する調査 (VI) 「溶融ガラスの漏えい」 事故時の放射性物質移行率の調査・検討”、林芳昭、林和也、瀬川智史、関根啓二、松岡伸吾、日本原子力学会和文論文誌、Vol. 9、No. 3、pp. 339-346、2010
- 2) 加藤清他、“放射性固体廃棄物焼却処理設備の排ガス処理系における除染性能”、日本原子力学会誌 vol. 30 No. 6 (1988)
- 3) Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 72. (1996)

固化セル内での溶融ガラスの漏えい時の被ばく線量評価

1. はじめに

ガラス溶融炉から溶融ガラスが全量漏えいし、さらに全交流電源喪失により、固化セル圧力放出系から放射性物質が放出された場合の敷地境界外での被ばく線量評価を行い、過度の放射線被ばくを及ぼす可能性について評価した。

2. 評価対象

ガラス溶融炉を評価対象とする。ガラス溶融炉は A 系、B 系の 2 系列から構成されるが、アクティブ試験における高レベル廃液ガラス固化設備の試験計画では両系統を同時に動かすことはないため、いずれか 1 基を評価対象とした。

3. 評価手法

事故により生じたエネルギーによって放射性物質が気相へ移行する割合や、設備により除染される割合、人間が呼吸しうる粒径の割合等をファクターとして考慮することによって放射性物質の放出量を簡易的に評価する手法である 5 因子法¹⁾を用いて放射性物質放出量を評価する。以下に計算式を示す。

$$\begin{aligned} ST_i &= MAR_i \times DR \times ARF_i \times LPF_i \times RF \\ MAR_i &= C_i \times M \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

ST_i (Source Term) : 元素グループ i の放射性物質放出量 (Bq)

MAR_i (Material at Risk) : 対象機器における元素グループ i の放射性物質質量 (Bq)

DR (Damage Ratio) : MAR のうち、各事象で影響を受ける割合 (-)

ARF_i (Airborne Release Fraction) : 元素グループ i の放射性物質の気相への移行割合 (-)

LPF_i (Leak Path Factor) : 元素グループ i の放出経路における放射性物質の低減割合 (-)

RF (Respirable Fraction) : 吸入摂取に寄与する割合 (-)

C_i : 対象機器における元素グループ i の濃度 (Bq/m³)

M : 対象機器における溶融ガラス量 (m³)

元素グループは、再処理事業指定申請書において、気体廃棄物の推定放出量の評価対象として示しているもののうち、事故時に支配的になる元素として、以下の4種類のグループを設定した。

- Ru/Rh
- Cs/Ba
- その他 FP
- Am/Cm

放射性物質吸入による敷地境界外の実効線量 D_I (Sv) は、放射性物質放出量に相対濃度、呼吸率及び実効線量換算係数を乗じて求める。以下に計算式を示す。

$$D_I = \sum_i H_i \cdot B \cdot \chi / Q \cdot ST_i \quad (2)$$

ここで、

H: 実効線量換算係数 (Sv/Bq)

B: 呼吸率 (m^3/s)

χ / Q : 相対濃度 (s/m^3)

4. 評価条件

4. 1 燃料仕様

表 1 に示す燃料仕様に基づき、燃焼計算コード ORIGEN2.1 を用いて各元素の放射能、重量を計算した。

表 1 被ばく線量評価に用いた燃料仕様

燃料型式	PWR
初期濃縮度	4.5wt%
燃焼度	45,000MWd/t \cdot U _{Pr}
比出力	38MW/t \cdot U _{Pr}
冷却期間	4年

4. 2 MAR の設定

機器毎に元素グループに応じた放射能濃度が記載された資料は存在しないことから、以下の考え方により設定した。

$$\text{放射能濃度 (Bq/cm}^3\text{)} = \frac{\text{ORIGEN2.1 の放射能計算値 (Bq/t} \cdot \text{U}_{\text{pr}}\text{)} \times \text{ガラス固化体発生量 (t} \cdot \text{U}_{\text{pr}}\text{/体)}}{150,000 \text{ (cm}^3\text{/体)}}$$

4. 3 DR の設定

DR は、事故時に発生する圧力等により放射性物質放出に寄与する割合であり、事故の様態により異なる。本評価では、ガラス溶融炉に内蔵する溶融ガラスが固化セル内に全量漏えいすることを想定するが、全交流電源喪失時に固化セル圧力放出系から放出される放射性物質量は、固化セル内の機器の余熱により膨張する空気分のみである。固化セル内に仮置きガラス固化体 6 本があることを想定しても、余熱による固化セル内温度は 72°C 程度であり、空気の膨張は限られる。このため、空気の膨張による放出割合である 0.088 を DR に設定する。

4. 4 ARF の設定

ARF は、漏えいにおける放射性物質の移行率であり、独立行政法人日本原子力研究開発機構の調査結果²⁾を参考にして、Cs/Ba については 2%、Ru/Rh については 0.4%、その他の元素については 0.2% として設定した。

4. 5 LPF の設定

固化セルの温度は 72°C 程度で定常状態になるため、固化セル圧力放出系の高性能粒子フィルタの健全性に影響することはない¹⁾。高性能粒子フィルタによりルテニウム以外は 99.9% の除去効率で浄化されることから、ルテニウムの LPF は 1、ルテニウム以外の LPF は 1.0×10^{-3} と設定した。

なお、揮発性ルテニウムに対する高性能粒子フィルタの LPF は、200°C において 1.0×10^{-3} 以下であると報告されていること³⁾を踏まえると、揮発性ルテニウムの LPF は 1 より小さくなるが、本評価では安全側に考慮しない。

4. 6 RF の設定

RF は、吸入摂取に寄与する割合であり、エアロゾル等の形態で浮遊する放射性物質の粒径に依存するパラメータである。事故時の放射性物質の粒径に関するデータはほとんどなく、定量的に設定することは困難で

あることから、ここでは安全側に $RF = 1$ （すべての粒子が吸入され被ばくに寄与する）と設定した。

4. 7 H の設定

H は ICRP Pub. 72⁴⁾ から元素毎の係数を調査し、元素グループ毎に設定した。結果を表 2 に示す。

表 2 実効線量換算係数

元素グループ	実効線量換算係数	単位
Ru/Rh	3.30×10^{-8}	Sv/Bq
Cs/Ba	5.93×10^{-9}	Sv/Bq
その他 FP	5.26×10^{-8}	Sv/Bq
Am/Cm	3.04×10^{-5}	Sv/α Bq

4. 8. B 及び χ/Q の設定

B は、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に記載の $1.2\text{m}^3/\text{h}$ とした。また、 χ/Q は、主排気筒放出に相当する $1.3 \times 10^{-6}\text{s}/\text{m}^3$ を採用した。

5. 評価結果

式(1)及び(2)を用いて線量評価を行った結果を表 3 に示す。熔融ガラス全量の漏えい事象が発生した場合の敷地境界外での被ばく線量は、 0.17mSv であった。

表 3 評価結果

元素グループ	放出量(Bq)	実効線量(mSv)	合計(mSv)
Ru/Rh	1.15×10^{13}	1.65×10^{-1}	0.17
Cs/Ba	2.18×10^{11}	5.60×10^{-4}	
その他 FP	2.37×10^{10}	5.40×10^{-4}	
Am/Cm	3.03×10^8	3.98×10^{-3}	

6. まとめ

ガラス熔融炉から熔融ガラス全量が漏えいし、さらに全交流電源喪失により、固化セル圧力放出系から放射性物質が放出された場合を想定したとしても、一般公衆に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれがないことを確認した。

参考文献

- 1) Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook, NUREG/CR-6410, 1998.
- 2) 吉田一雄他、” 核燃料施設の事故影響評価手法に関する調査 (I) ”、JAEA-Research 2007-047、(2007)
- 3) 加藤清他、“放射性固体廃棄物焼却処理設備の排ガス処理系における除染性能”、日本原子力学会誌 vol.30 No.6 (1988)
- 4) “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients”, ICRP Publication 72. (1996)

硝酸プルトニウム溶液の漏えい時の臨界安全評価

1. はじめに

アクティブ試験期間中の施設状態において、未臨界濃度を超えるプルトニウムを含む溶液（以下、「硝酸プルトニウム溶液」という。）が漏えいした場合に、臨界になる可能性について評価する。

2. 硝酸プルトニウム溶液の臨界防止に係る安全設計

硝酸プルトニウム溶液を内蔵する機器は、ステンレス鋼、ジルコニウム等の腐食し難い材料を使用し、十分な腐食代を考慮するとともに、溶接構造、異材継手等により接続し漏えいし難い設計としている。また、これらの機器は、最も高い耐震クラスとし、想定されるいかなる地震力に対しても十分な耐震性を有する設計としている。

また、硝酸プルトニウム溶液を取扱うセルには、漏えい液受皿を設置しており、この漏えい液受皿は、セル内の最大容量の機器 1 基から内蔵する溶液が全量漏えいした場合でも、漏えい液受皿内の溶液の液厚が未臨界を維持できる液厚を超えないように設計することで、万一の漏えい時にも漏えい液が臨界になることを防止している。

3. 機器に内蔵する溶液

アクティブ試験期間中の状態として、各機器に内蔵される Pu 量を評価するために、Pu 濃度の分析結果及び分析試料を採取した時点の機器の液量から、各機器に内蔵する溶液中の Pu 量を調査した。

未臨界濃度を超える硝酸プルトニウム溶液を含む機器は、以下のとおり。

セル名	機器名	Pu 濃度 [g/L]	液量 [L]	Pu 量 [kg]
プルトニウム濃縮液受槽セル	プルトニウム濃縮液受槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
プルトニウム濃縮液計量槽セル	プルトニウム濃縮液中間貯槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
プルトニウム濃縮液一時貯槽セル	プルトニウム濃縮液一時貯槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	希釈槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
硝酸プルトニウム貯槽セル	硝酸プルトニウム貯槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

セル名	機器名	Pu 濃度 [g/L]	液量 [L]	Pu 量 [kg]
混合槽 A セル	混合槽 A			
混合槽 B セル	混合槽 B			

4. 評価方法

3. に示した硝酸プルトニウム溶液が漏えいした場合の臨界評価に当たっては、水等の漏えいが重なったことによる漏えい液の希釈や自然蒸発等による濃縮を考慮した状態についても確認を行う。

このため、漏えい液の Pu 濃度と液厚を変化させて、臨界評価を行う。

この臨界防止の判断基準は、設計及び工事の方法の認可申請書の臨界防止に関する計算書に記載の体系で、Pu 濃度毎に液厚を変化させた場合の実効増倍率を評価し、この評価結果から求めた実効増倍率が 0.95 になる各プルトニウム濃度に対する未臨界液厚とした。詳細な評価条件等は、別紙-1 に示す。

5. 評価結果

評価の結果、漏えい液の希釈や自然蒸発等による濃縮を考慮して漏えい液の Pu 濃度を変化させた場合に、いずれの液厚についても、漏えい液の液厚が未臨界液厚を下回っていることを確認した。

確認結果の一例として、セル内の機器に内蔵している Pu 量が最も多いプルトニウム濃縮液一時貯槽セルの結果を別紙-2 に示す。

6. まとめ

アクティブ試験機関中の状態においては、いずれのセルにおいても機器内の硝酸プルトニウム溶液が漏えいし、さらに水等で希釈されて液厚が増加した場合でも、臨界にならないことを確認した。

プルトニウム濃度毎の未臨界液厚の評価

1. 解析の方法及び手順

各プルトニウム濃度に対して、未臨界を維持できる液厚を求める。

設計及び工事の方法の認可申請書の臨界防止に関する計算書に記載の条件を基本とし、硝酸プルトニウム溶液の Pu 濃度及び液厚を変化させて臨界評価を行う。なお、設計及び工事の方法の認可申請書では、精製建屋とウラン・プルトニウム混合脱硝建屋では異なる計算モデルを使用しているが、精製建屋の漏えい液受皿は、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の漏えい液受皿よりも、漏えい液集液溝や集液ポットが大きいことから、精製建屋の計算モデルで評価を行う。

臨界評価は、SCALE5 コードシステムを用いて行う。漏えい液受皿の計算モデルを図 1 に示す。

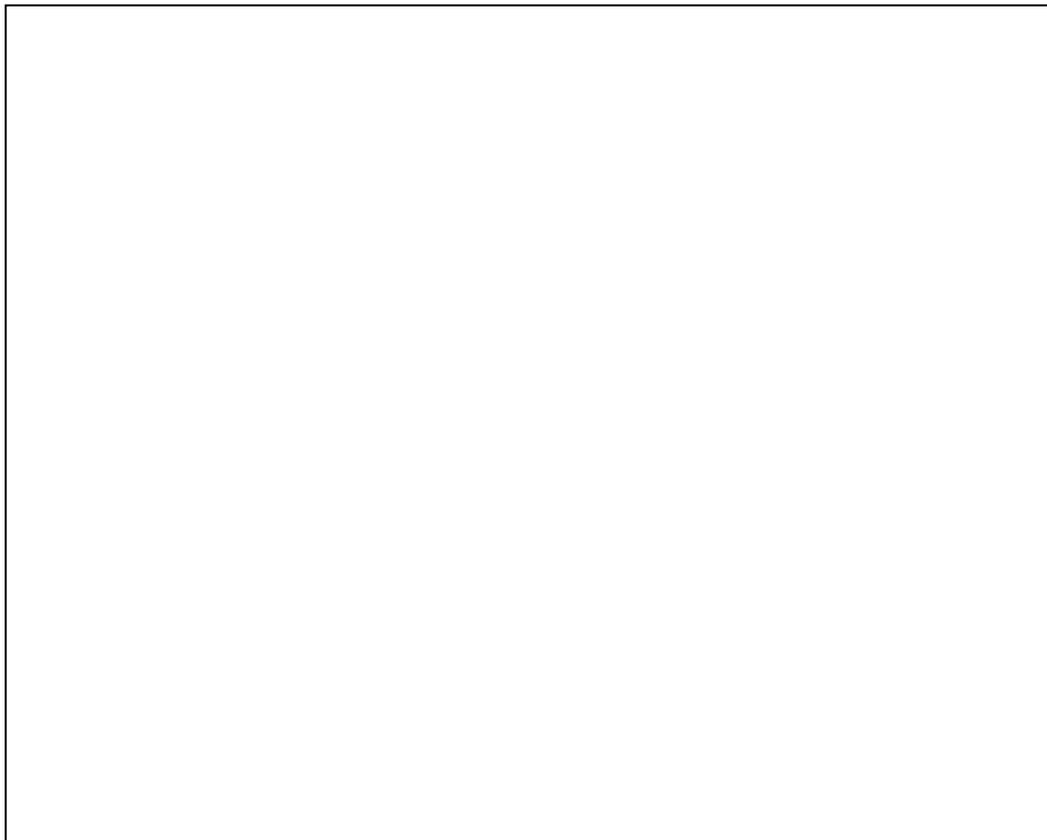


図 1 漏えい液受皿の計算モデル

2. 解析条件

臨界評価に当たっては、以下の事項を考慮する。

- プルトニウム同位体組成は以下のとおりとする。
Pu-239:Pu-240:Pu-241 = 71wt%:17wt%:12wt%
- 核燃料物質は、均質・均一の硝酸プルトニウム溶液とし、核分裂生成物及びアクチノイド（プルトニウムを除く。）は考慮しない。
- 硝酸プルトニウム溶液は、化学形態を $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ とし、遊離硝酸を考慮しない。このため、希釈する溶液は水とする。
- 漏えい液受皿は無限平板とし、下面の反射条件はコンクリート全反射、上面の反射条件は厚さ 25mm の水反射とする。
- それぞれの Pu 濃度に対して液厚を変化させた場合の実効増倍率を評価し、その結果から実効増倍率が 0.95 に相当する液厚(未臨界液厚)を求める。

3. 解析結果

上記の評価方法で求めた未臨界液厚を表 1 に示す。

表 1 硝酸プルトニウム溶液の未臨界液厚

Pu 濃度 [g/L]	未臨界液厚 [cm]	Pu 濃度 [g/L]	未臨界液厚 [cm]
9	60.0	40	10.0
12	27.0	50	9.0
16	18.5	100	7.0
20	15.0	150	7.0
24	13.0	200	7.0
30	11.5	250	7.0

プルトニウム濃縮液一時貯槽セルの評価結果

プルトニウム濃縮液一時貯槽セルにはプルトニウム濃縮液一時貯槽と希釈槽の2つの機器がある。これらの機器が内蔵している溶液は以下のとおり。

機器名	Pu 濃度 [g/L]	液量 [L]	Pu 量 [kg]
プルトニウム濃縮液一時貯槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
希釈槽	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

この条件から、プルトニウム濃縮液一時貯槽セルへ漏えいする漏えい液の Pu 濃度、液量は以下のとおりとする。

	Pu 濃度 [g/L]	液量 [L]
漏えい液	<input type="text"/>	<input type="text"/>

上記の値は以下のとおり設定した。

液量:Pu 濃度の高い溶液を内蔵するプルトニウム濃縮液一時貯槽の液量を保守側に丸めた値

プルトニウム濃度:プルトニウム濃縮液一時貯槽の Pu 濃度に希釈槽に内蔵する溶液中のプルトニウム量 (濃度×液量) で補正した Pu 濃度を保守側に丸めた値

上記の漏えい液がセル内へ漏えいし、希釈または濃縮されたことを想定した場合の Pu 濃度、液量、漏えい液の液厚及びそれぞれのプルトニウム濃度に対する未臨界液厚を下表に示す。

Pu 濃度 [g/L]	液量 [L]	未臨界液厚 [cm]	漏えい時の液厚 [cm]
250	<input type="text"/>	7	<input type="text"/>
200	<input type="text"/>	7	<input type="text"/>
150	<input type="text"/>	7	<input type="text"/>
100	<input type="text"/>	7	<input type="text"/>
50	<input type="text"/>	9	<input type="text"/>
24	<input type="text"/>	13	<input type="text"/>
16	<input type="text"/>	18.5	<input type="text"/>
12	<input type="text"/>	27	<input type="text"/>
9	<input type="text"/>	60	<input type="text"/>

上記から、いずれの Pu 濃度においても、漏えい液の液厚が未臨界液厚を下回っており、プルトニウム濃縮液一時貯槽セル内の機器から溶液が漏えいし、さらに希釈、濃縮等の濃度変化を考慮しても、漏えい液が臨界になることはない。

燃料貯蔵ラック及び貯蔵ホール破損時の臨界安全評価

1. はじめに

使用済燃料貯蔵設備の燃料貯蔵ラック及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵設備の貯蔵ホールは、非常に多くの核燃料物質を貯蔵する設備である。これらの設備は、適切な貯蔵物の間隔をとることで、核燃料物質が臨界になることを防止している。

本評価では、設計想定を超えるような地震によりこれらの設備が破損し、貯蔵物の間隔を適切に維持できなくなった場合の臨界安全評価を行う。

2. 燃料貯蔵ラックの臨界安全評価

2. 1 評価手法

燃料貯蔵ラックが、地震により破損し、使用済燃料集合体の間隔を適切に維持できなくなった状態を想定し、この体系での実効増倍率を算出する。

実効増倍率の算出は、ORIGEN2.2 及び SCALE5 コードシステムを用いて行う。具体的には、ORIGEN2.2 により使用済燃料集合体中のウラン及びプルトニウムの同位体組成並びに核分裂生成物（以下、「FP」という。）の生成量を評価し、この同位体組成と FP 生成量を用いて SCALE5 コードシステムの KENO-6 により実効増倍率を算出する。

2. 2 評価条件の設定

(1) 評価対象設備

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設において、使用済燃料集合体の間隔により臨界になることを防止している設備は、燃焼度計測前燃料仮置きラック、燃焼度計測後燃料仮置きラック、低残留濃縮度 BWR 燃料貯蔵ラック、低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラック、高残留濃縮度 BWR 燃料貯蔵ラック、高残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラック、BWR 燃料用バスケット及び PWR 燃料用バスケットである。

このうち、高残留濃縮度 BWR 燃料貯蔵ラック及び高残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックは、使用済燃料を収納缶に収納した状態で燃料貯蔵ラックに保管するため、地震により燃料貯蔵ラックが破損しても使用済燃料集合体の間隔が維持される。

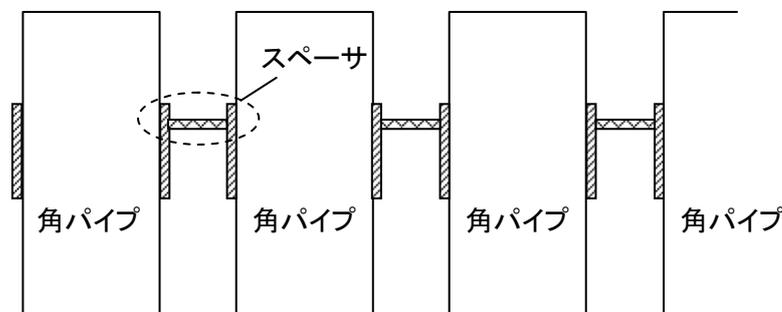
燃焼度計測前燃料仮置きラック及び燃焼度計測後燃料仮置きラック並びに BWR 燃料用バスケット及び PWR 燃料用バスケットは、使用済燃料集合体の間隔が狭くなるような破損状態は想定されない。

上記から、低残留濃縮度 BWR 燃料貯蔵ラック及び低残留濃縮度 PWR 燃

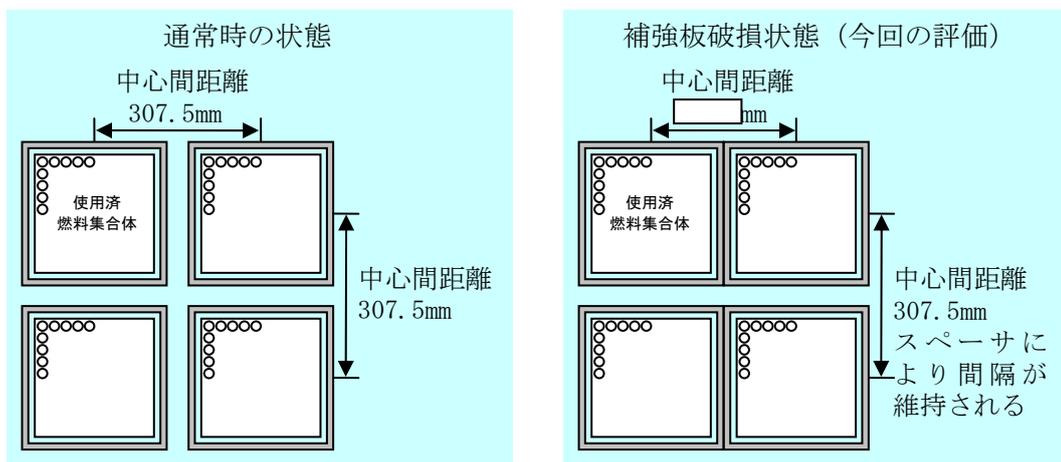
料貯蔵ラックを評価対象とする。なお、実効増倍率の計算は、代表して使用済燃料集合体の断面積が大きい PWR 燃料を収納する低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックを対象に実施する。

(2) 破損時の状態の想定

低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックは、使用済燃料集合体を収納する角パイプを補強板で接合する構造である。さらに、燃料貯蔵ラックの一方方向については、以下の図に示すように角パイプの間にスペーサが取り付けられていることから、この方向については使用済燃料集合体の間隔を維持できると考えられる。



よって、以下ではスペーサの取り付けられていない方向について補強板が破損し、角パイプが密接した状態となったことを想定する。解析モデルの概要図を以下に示す。



(3) 使用済燃料集合体の条件

低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックへ収納できる使用済燃料集合体の残留濃縮度の最大は 2.0wt% であるが、実際に原子力発電所から発生する PWR の使用済燃料の残留濃縮度は、1.0wt% を中心に分布しており、1.4wt% を下回っているものがほとんどである。また、使用済燃料集合体の受入

れに当たっては、燃焼度計測装置により測定した燃焼度から評価した残留濃縮度により、受入れ及び収納する燃料貯蔵ラックの種類を選択するが、この残留濃縮度は、燃焼度計測装置の測定値に校正誤差等を加味した値であることから、実際に低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックへ収納される使用済燃料の残留濃縮度の最大は 1.5wt%程度である。

このため、低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラック破損時の実効増倍率の計算は、PWR 燃料集合体の残留濃縮度を 1.5wt%として実施する。

使用済燃料集合体の形状は、当社で受入れることができる PWR 燃料集合体の中で最も実効増倍率が高くなる型式である 15×15 型集合体とする。

(4) FP の考慮

ウラン及びプルトニウムの核分裂により生成される FP の中には、強い中性子吸収効果を持つものがあり、これらの FP は核分裂の連鎖反応を抑制する。本評価においては、この FP による中性子吸収効果を考慮する。

なお、FP を考慮する場合、燃料集合体の軸方向に対して一様の燃焼度（集合体平均燃焼度）で評価を行うと実効増倍率が低くなり保守的ではないため、燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮した評価を行う。

具体的には、以下のとおり。

- ①燃焼度分布は、測定手法検討を目的に実施した実燃料集合体の軸方向燃焼度分布測定結果から求めた相対的な燃焼度分布を使用する。
- ②燃料集合体を軸方向に 11 の領域に分け、上記①の相対的な燃焼度分布をもとに、集合体平均の残留濃縮度が 1.5wt%となるように各領域の燃焼度を設定する。
- ③ORIGEN2.2 により上記②で設定した燃焼度までの燃焼計算を行い、各領域におけるウラン、プルトニウム及び FP の組成を決定する。
- ④実効増倍率の計算で考慮する FP は、臨界安全ハンドブック第 2 版において臨界計算で考慮してよいとされている 12 核種とする。臨界計算で考慮する FP の量は、保守的に上記③の計算結果（生成量）の 50%の量とする。

2. 3 計算結果

2. 2 に示す条件で計算した結果、実効増倍率の評価値は 0.964 であり、実効増倍率が 0.985 を下回っていることから、低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックの破損を想定しても臨界にならない。

また、上記の評価に加え、低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックに残留濃縮度が 1.5wt%を超える使用済燃料集合体（残留濃縮度 2.0wt%）を 1 体収納した場合の評価を実施した。この結果、実効増倍率の評価値は 0.968 であり、さらに角パイプ内での燃料集合体の位置の偏りによる実効増倍率の上昇分（0.008）を考慮しても、実効増倍率が 0.985 を下回っており、臨界にはならない。

以上より、低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックの破損時に臨界にならないことを確認できたが、これを確実にするために、今後、残留濃縮度が 1.5wt%を超える使用済燃料集合体を低残留濃縮度 PWR 燃料貯蔵ラックに収納する場合は、燃料貯蔵ラック 1 基（使用済燃料集合体 56 体）当たりには収納する残留濃縮度が 1.5wt%を超える燃料集合体は 1 体までとするよう管理を行う。

3. 貯蔵ホールの臨界安全評価

3. 1 評価手法

ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵設備の貯蔵ホールが地震により破損し、混合酸化物貯蔵容器（以下、「貯蔵容器」という。）の間隔を適切に維持できなくなった状態を想定し、この体系での実効増倍率を算出する。

実効増倍率は、SCALE5 コードシステムの KENO-6 を用いて算出する。

3. 2 評価条件の設定

(1) 破損時の状態の想定

貯蔵ホールは、貯蔵容器をチャンネルベース、支持トラス等の構造物により、下から支える構造である。構造物が破損し、貯蔵容器が貯蔵室床面に落下した状態を想定する。

貯蔵容器の上部のフランジ部の直径は、胴部（粉末缶を収納する部分）の直径より大きくなっているため、貯蔵容器が落下しても全ての貯蔵容器の胴部が密接した状態となることはないが、ここでは安全側に貯蔵容器の胴部が密接した状態で評価する。

また、貯蔵室の床面は、全ての貯蔵容器を横にした状態で 1 段に並べることができるだけの面積を有するが、ここでは貯蔵容器が密接した状態で 2 段に積み重なった状態を想定する。さらに、貯蔵室内に雨水等が浸入することを考慮して、貯蔵容器の周囲は水とする。

(3) ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末の状態

ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末（以下、「MOX 粉末」という。）は貯蔵容器内の粉末缶の中にあるものとし、その同位体組成等は以下の

とおりとする。

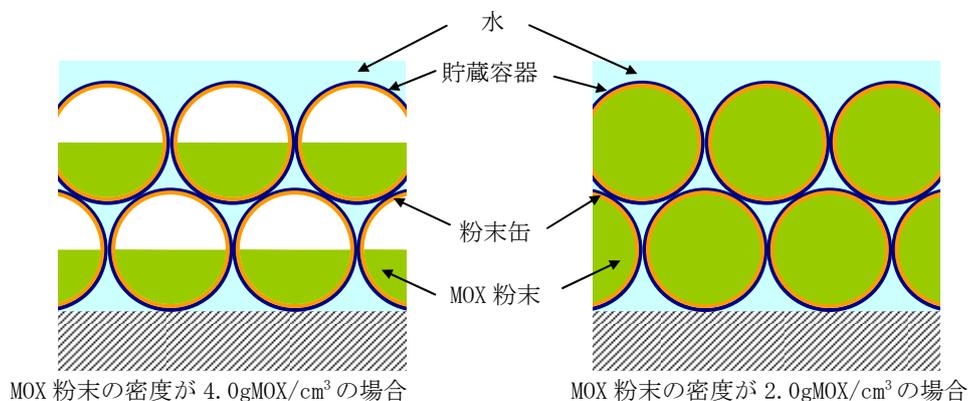
- ウラン及びプルトニウムの同位体組成は次のとおりとする。

$$U-235:U-238 = 1.6\text{wt\%}:98.4\text{wt\%}$$

$$Pu-239:Pu-240:Pu-241 = 71\text{wt\%}:17\text{wt\%}:12\text{wt\%}$$

- 核燃料物質の化学的組成は、均一な MOX 粉末 ($UO_2 + PuO_2$) と水の混合物とし、MOX 粉末の含水率は、アクティブ試験での測定結果から安全側に設定した値である wt% とする。
- ウランとプルトニウムの重量比は、ウランとプルトニウムの混合時の誤差を考慮して、 $Pu/U = 1.22$ とする。
- MOX 粉末の密度は、 $4.0\text{gMOX}/\text{cm}^3$ (密度が高い側の値でタップ密度に相当する値) または $2.0\text{gMOX}/\text{cm}^3$ (密度が低い側の値でかさ密度に相当する値) とする。
- 粉末缶内の MOX 粉末の位置は、MOX 粉末の密度に応じて変化させる。具体的には、MOX 粉末の密度を $4.0\text{gMOX}/\text{cm}^3$ とする場合は、粉末缶内の半分の領域を MOX 粉末の領域、残りは空隙とし、MOX 粉末の密度を $2.0\text{gMOX}/\text{cm}^3$ とする場合は、粉末缶内の全体を MOX 粉末の領域として設定する。

解析モデルの概要図を以下に示す。



3. 3 計算結果

3. 2 に示す条件で計算した結果、平均実効増倍率に 3σ を加えた値は、MOX 粉末密度を $4.0\text{gMOX}/\text{cm}^3$ とした場合で 0.92、 $2.0\text{gMOX}/\text{cm}^3$ とした場合で 0.93 であり、貯蔵ホールの破損を想定しても臨界にならない。

4. まとめ

上記から、地震により燃料貯蔵ラック及び貯蔵ホールが破損し、貯蔵物の間

隔が適切に維持できなくなった場合であっても臨界になることはないことを確認した。

なお、上記のようにラックの損傷を考慮しても臨界にならないことは確認したが、事業者としてのさらなる安全性向上に対する取り組みの観点から、未臨界対応用のホウ酸を準備する。

地震時における鉄筋コンクリートの破損としゃへい機能の評価

1. はじめに

本報告書における耐震評価時のせん断ひずみの評価基準値は、 4×10^{-3} を用いているが、この値がしゃへい機能維持に関しては十分保守性を有することを確認する。

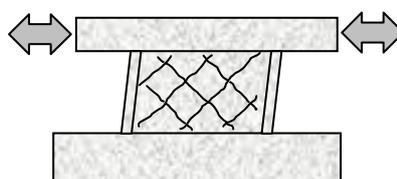
2. 地震発生時における鉄筋コンクリートの破損データ

基準地震動を超える地震発生時に、鉄筋コンクリート部材が終局耐力を超えた場合に生じるひび割れによって、しゃへい性能が確保されるかを確認するために、鉄筋コンクリート構造物の模擬試験体を使ってせん断加力試験を過去に実施している。

鉄筋コンクリート試験体のせん断加力試験の様子を図 1 に、鉄筋コンクリート試験体のせん断加力試験のイメージを図 2 に示す。



図 1 鉄筋コンクリート試験体のせん断加力試験の様子



コンクリート壁のせん断加力試験による
ひび割れパターン（ひび割れ幅・間隔）の把握

図 2 鉄筋コンクリート試験体のせん断加力試験のイメージ図

3. 試験結果

設計上の終局状態といわれる 4×10^{-3} のせん断ひずみにおいては、ひび割れが生じるものの壁面の剥離は生じない。（図 3 写真 1 参照）さらに応力を加えてせん断ひずみ 7×10^{-3} 以上にした場合、壁面に剥離が生じた。（図 3 写真 2 参照）

また、 4×10^{-3} のせん断ひずみにおいて、コンクリート表面のひび割れ性状、ひび割れ断面の凹凸形状を観察した結果、特徴は以下のとおりであった。

- ・ ひび割れは鉄筋の配置間隔 (200mm) とほぼ同じ間隔で格子状に発生している。(図 3 写真 1 参照)
- ・ ひび割れ幅全長の 95%以上は 0.25mm 未満であり、1mm 以上は極僅かであった。(図 4 参照)
- ・ 模擬試験体のひび割れ部からコンクリートコアを複数採取して (図 5 参照)、ひび割れ面の凹凸量を数値化した。図 6 に示すように、G-G 断面での凹凸量は 11.9mm であった。このように、凹凸量はひび割れ幅と比べ十分大きいため放射線ストリーミングは無視できると考えられる¹⁾。

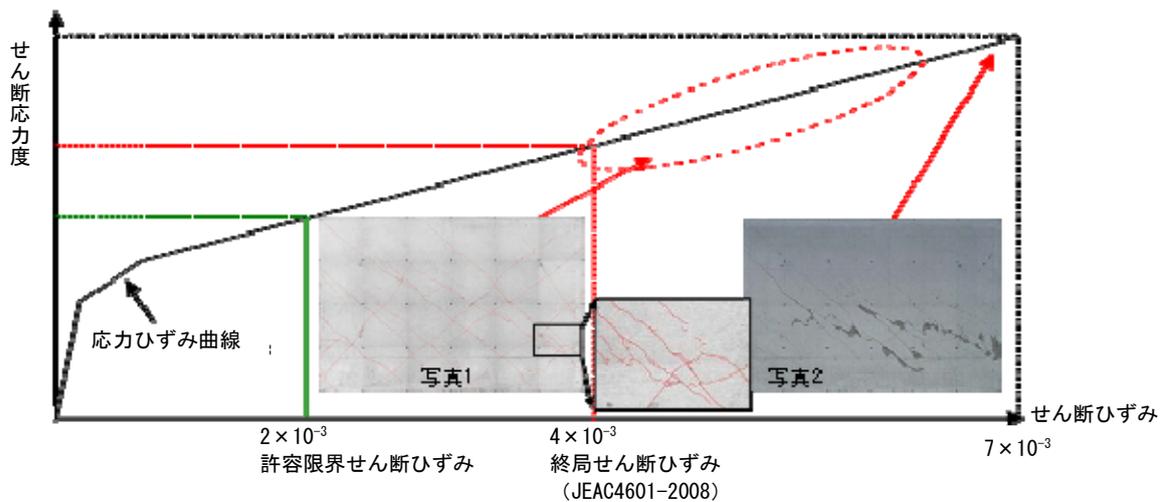


図 3 せん断ひずみと鉄筋コンクリートの損傷イメージ

写真 1:せん断ひずみ 4×10^{-3} 時のコンクリート表面であり、格子状のひび割れが見られる。

写真 2:せん断ひずみ 7×10^{-3} 時のコンクリート表面であり、剥離が起きている。

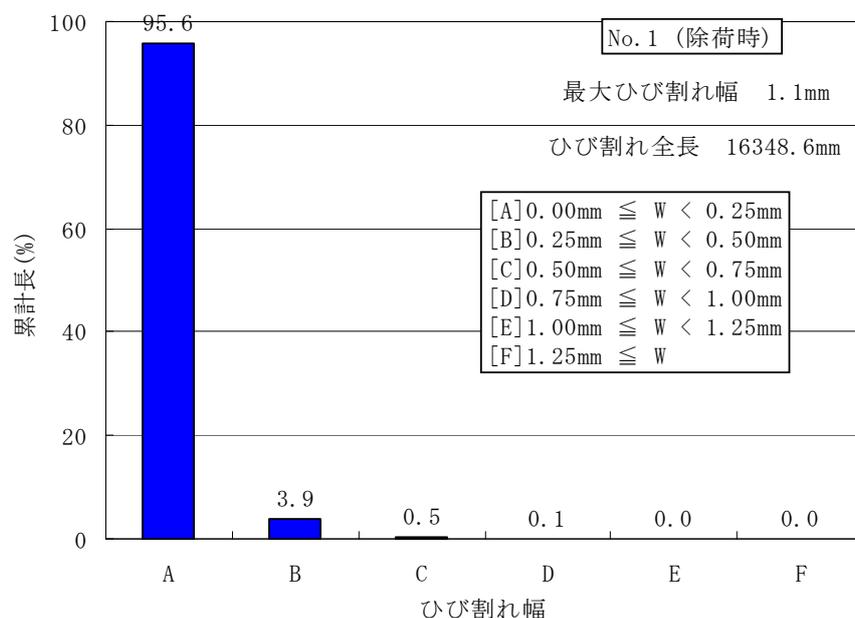


図 4 ひび割れ幅のヒストグラム¹⁾



図5 採取したコンクリートコア断面の状況

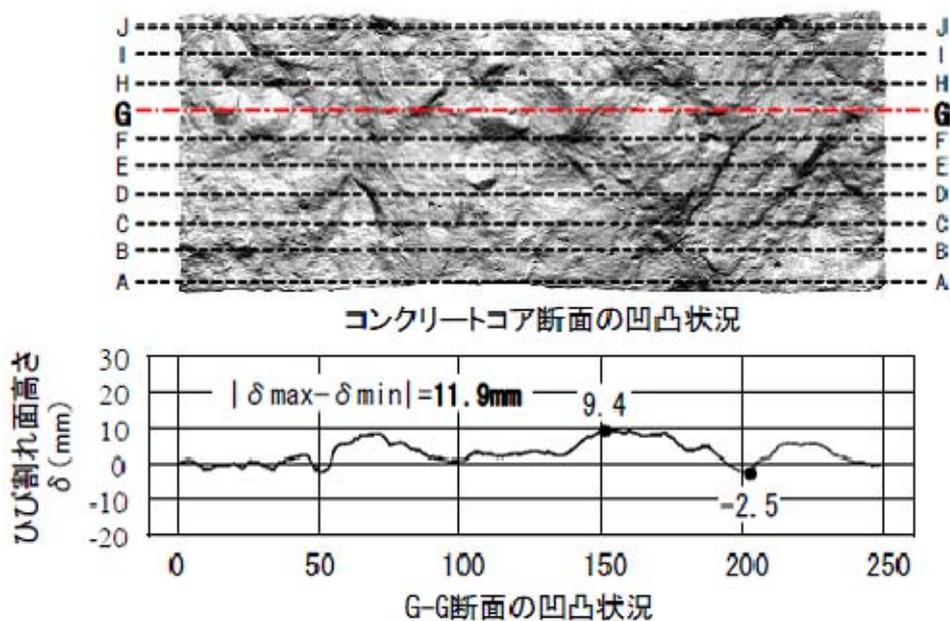


図6 ひび割れ断面の例¹⁾

これらを踏まえ、保守的にひび割れの状態を平面スリットと仮定したモデルで、モンテカルロ解析を実施した結果、剥離がなくひび割れのみであればしゃへいコンクリートのしゃへい性能の低下は少なかった²⁾。

4. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の模擬試験体を使ったせん断加力試験の結果等から、設計上の終局状態といわれるせん断ひずみ 4×10^{-3} を超えた場合に生じるひび割れによっても、遮へい機能は低下しないことを確認した。

参考文献

- 1) 西岡聖雅他、“鉄筋コンクリート耐震壁の遮へい性能に関する研究 その 2 ひび割れの分析とモデル化”、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008 年 9 月
- 2) Keiji Sekine et al., “Study on Radiation Shielding Performance of Reinforced Concrete Wall After the Earthquake”, Journal of Disaster Research Vol.5 No.4, 2010

強風による影響評価

1. はじめに

強風による再処理施設への影響について評価する。評価に当たっては、六ヶ所地域の過去の最大瞬間風速を調査するとともに、設計で用いられている風荷重との関係性を評価する。なお、本資料において使用している気象データについては、気象庁ホームページから引用している。

2. 全国の風速の傾向

図 1 に 30 年間（1981～2010 年）の全国の風速年平年値の分布を示す。岬の突端及び離島で風速が大きくなる傾向があり、全国的に見て六ヶ所地域は特段風速が大きい地域ではないことを確認した。

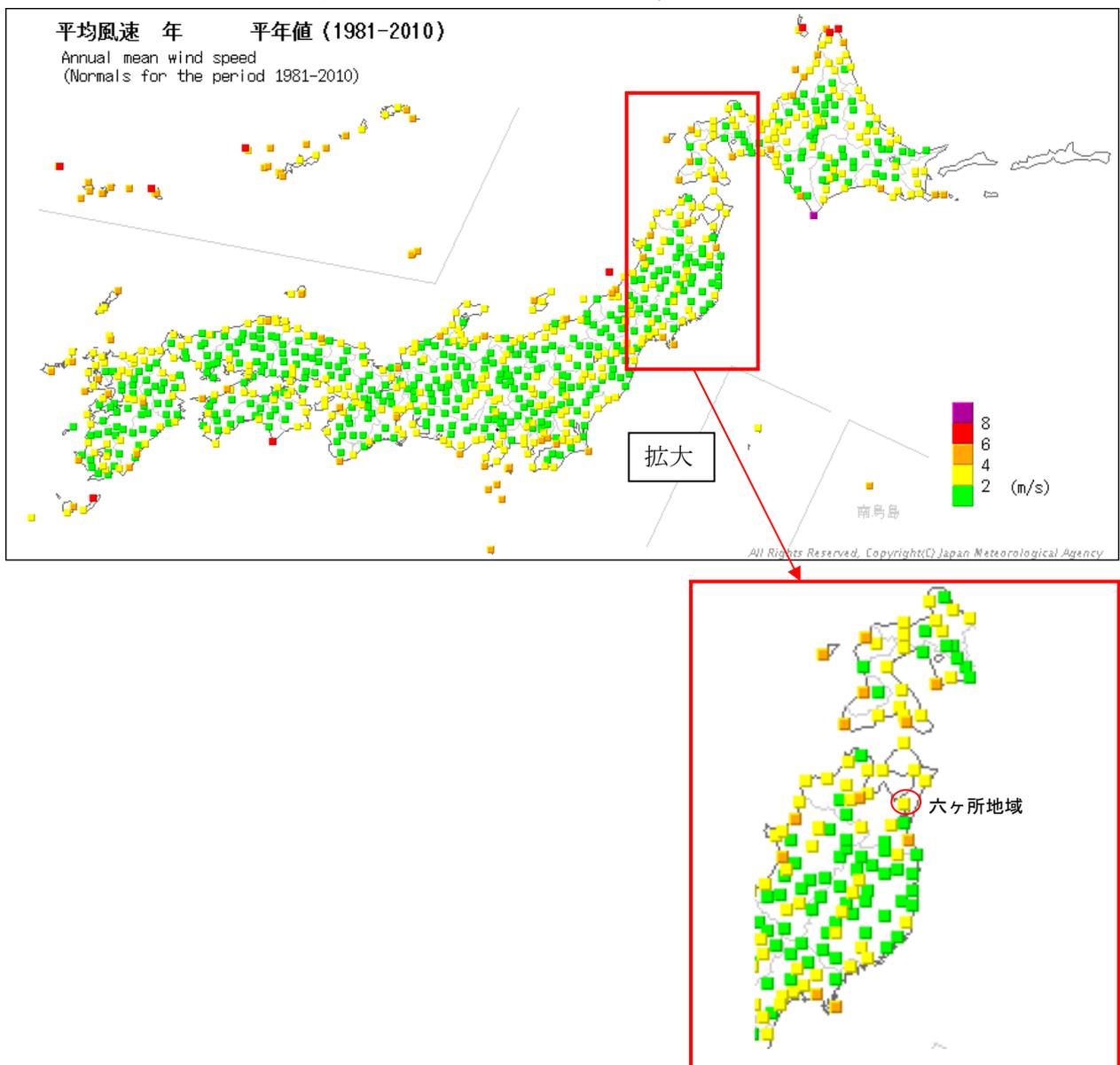


図 1 全国の 30 年間（1981～2010 年）の風速年平年値

次に、気象評価として、再処理事業指定申請書で採用している八戸特別地域気象観測所（旧八戸測候所：1936年観測開始）及びむつ特別地域気象観測所（旧むつ測候所：1935年観測開始）（以下、両者を合わせて「八戸・むつ観測所」という。）を対象とし、過去の最大瞬間風速について調査を行った。八戸・むつ観測所の各々の過去の最大瞬間風速を見ると、1955年2月20日に八戸特別地域気象観測所で記録した41.3m/sが過去最大である。（表1参照）

表1 八戸・むつ観測所での最大瞬間風速

観測地	記録	観測日
八戸	41.3m/s	1955年2月20日
むつ	38.9m/s	1961年5月29日

3. 設備に対する影響評価

建築基準法施行令第87条の風荷重規定は2000年に大幅に変更されており、改正前の「旧建築基準法施行令第87条に基づく風荷重の算出方法」（以下、「旧基準法」という。）と改正以降の「建築基準法施行令第87条に基づく風荷重の算出方法」（以下、「基準法」という。）では、風荷重算出方法が異なっている。再処理施設の各建屋は、設計時期の違いによって、それぞれの計算方法で評価を行っている。第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び西棟は、基準法に基づき評価を行っており、その他の建屋は、旧基準法に基づき評価を行っている。

そのため、旧基準法及び基準法における風荷重の算出方法が、六ヶ所地域の風速の実績よりも厳しい評価であることを確認し、その上で風荷重と地震荷重の比較を行い、施設への影響について評価した。

3. 1 旧基準法に基づく風荷重の算出方法及び影響評価

a. 旧基準法に基づく風荷重の算出方法

旧基準法に基づく速度圧 q [N/m²] の算出は次式のとおりである。この速度圧に建物の投影面積を乗じることで風荷重を算出する。

$$\text{建物高さ } H[\text{m}] \text{ が } 16\text{m 未満の場合} \quad q = 9.8 \times 60 \sqrt{H} \quad \dots (1)$$

$$\text{建物高さ } H[\text{m}] \text{ が } 16\text{m 以上の場合} \quad q = 9.8 \times 120^4 \sqrt{H} \quad \dots (2)$$

旧基準法に基づく速度圧の算出式は、室戸台風（1934年）時に室戸岬での高さ15mにおける観測値である最大瞬間風速約63m/sに基づき全国一律で規定された式であり、八戸・むつ観測所での最大瞬間風速よりも厳しい評価となる。

b. 風荷重に対する影響評価

設計及び工事の方法の認可申請書（以下、「設工認申請書」という。）に記載の地震荷重と風荷重を設備毎に比較し、八戸・むつ観測所での最大瞬間風速 41.3m/s よりも厳しい評価で算出された風荷重が地震荷重に比べて小さいことを確認した。

表 2～表 26 に、旧基準法の風荷重算出方法を用いて作成した設工認申請書に記載している設備の地震荷重と風荷重を示す。

3. 2 基準法に基づく風荷重の算出方法及び影響評価

a. 基準法に基づく風荷重の算出方法

建物にかかる風荷重を算出するための速度圧の基本式は (3) 式で表される。

$$q = 0.6 \times E \times V_0^2 \quad \dots (3)$$

これは、理論式である

$$q = 1/2 \times \rho \times V_0^2 \quad \dots (4)$$

に、20℃のときの空気密度 $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$ を代入すると、

$$q = 0.6 \times V_0^2 \quad \dots (5)$$

となり、さらに式 (5) に E を乗じることで求められる。

ここで、

q:速度圧[N/m²]

E:当該建築物の屋根の高さ及び周辺の地域に存する建築物その他の工作物、樹木その他の風速に影響を与えるものの状況に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

V₀:その地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度その他の風の性状に応じて 30m/s から 46m/s までの範囲内において国土交通大臣が定める風速[m/s]

E は次式により求める。

$$E = E_r^2 \times G_f \quad \dots (6)$$

ここで、

E_r:平均風速の高さ方向の分布を表す係数

G_f:ガスト影響係数

E_r は、建物高さ H の違いにより、次式により求める。

$$H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合} \quad E_r = 1.7 \times (Z_b/ZG)^\alpha \quad \dots (7)$$

$$H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合} \quad E_r = 1.7 \times (H/ZG)^\alpha \quad \dots (8)$$

Z_b 、 ZG 及び α は、地表面粗度区分に応じて次の表に掲げる数値を用いる。

地表面粗度区分		Z_b [m]	ZG [m]	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がな いものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.1
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域以 外の区域（建築物の高さが 13m 以下の場合を除く） 又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区 域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線（対岸まで の距離が 1,500m 以上のものに限る。以下同じ）まで の距離が 500m 以内の地域（ただし、建築物の高さが 13m 以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線 からの距離が 200m を超え、かつ、建築物の高さが 31m 以下である場合を除く）	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又はIV以外の区域	5	450	0.2
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいも のとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27

G_f は、地表面粗度区分及び H に応じて次の表に掲げる数値を用いる。

地表面 粗度区分	H [m]	(一)	(二)	(三)
		10 以下の場合	10 を超え 40 未満の場合	40 以上の場合
I		2	(一)と(三)に掲げる数値を 直線的に補間した数値	1.8
II		2.2		2
III		2.5		2.1
IV		3.1		2.3

八戸・むつ観測所での最大瞬間風速は、41.3m/s であるが、設計時の風荷
重の算出には、国土交通大臣が定める青森県の風速 34m/s を用いている。

E は、建物高さ H と地表面粗度区分を考慮した風速の安全係数とい
うことができ、地表面粗度区分 II のときの建屋高さ H と E の関係は図2のとおりとなる。
 E が最も小さいのは、建屋高さ 1~5m のときであり、 $E = 1.78$ である。 E を風

速の安全係数と捉えたと、(3) 式にある $E \times V_0^2$ の平方根が、風速に相当する値と言えることから、国土交通大臣が定める青森県の風速34m/sに $E = 1.78$ を考慮し、下式で求めると

$$\sqrt{(E \times V_0^2)} = \sqrt{(1.78 \times 34^2)} = 45.4\text{m/s}$$

45.4m/sとなり、八戸・むつ観測所での最大瞬間風速41.3m/sよりも厳しい評価をしていることになる。

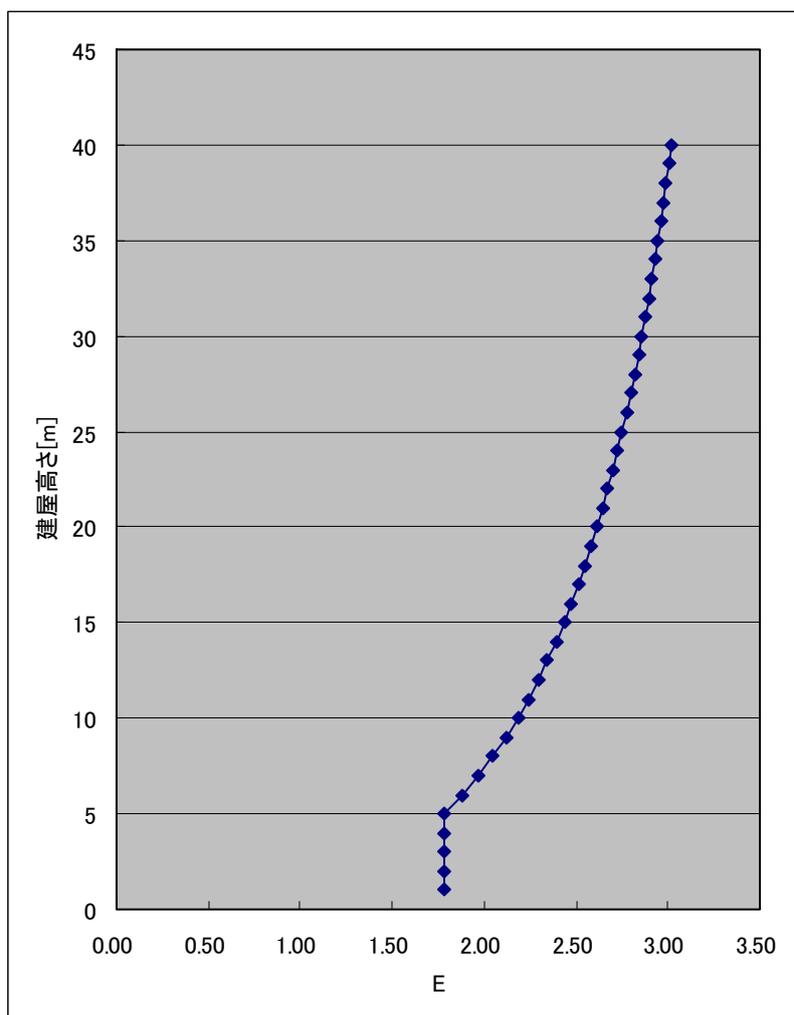


図2 建屋高さ と E の関係

b. 風荷重に対する影響評価

再処理施設の中で2000年の建築基準法改正以降に設計した第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び西棟について、設工認申請書に記載の地震荷重と風荷重を設備毎に比較し、八戸・むつ観測所での最大瞬間風速41.3m/sよりも厳しい評価で算出された風荷重が地震荷重に比べて小さいことを確認した。

表27及び表28に第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び西棟の設工認申請書の耐震計算で考慮した地震荷重と風荷重を示す。

4. まとめ

風荷重は地震荷重に比べ小さく、最大瞬間風速である41.3m/sを超える風が発生した場合でも施設へ影響を与える可能性は極めて低いことを確認した。

表 2 使用済燃料輸送容器管理建屋（除染エリア）の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
71.1						
	7510	7020	350	340	21	21
66.5						
	15330	14820	760	740	20	20
60.3						
	21920	21670	980	960	22	23
55.3						

表 3 使用済燃料輸送容器管理建屋

(使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫)の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
81						
	689	803	169	29	4	28
75						
	817	1159	296	43	3	27
70.2						
	1240	1484	418	87	3	17
65.2						
	2740	2560	498	112	6	23
61.6						
	5039	5039	615	150	8	34
53						

表 4 使用済燃料輸送容器管理建屋（トレーラエリア）の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
73.15						
	574	504	105	56	5	9
63.9						
	874	874	177	100	5	9
55.3						

表 5 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
75.9						
	15900	13620	80	109	199	125
73		19580	133	181	177	108
71	23530	21670	226	310	104	70
67.4		37700	33760	285	392	132
64.8	37650	38540	305	420	123	92
63.8		43940	353	485	136	91
61.3	48100	48590	455	628	106	77
55.3						

表 6 前処理建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
88.8						
	14700	16370	71	73	207	224
80.04	26660	29080	282	315	95	92
74.09	47120	50270	414	483	114	104
68.99	62260	65610	521	622	120	105
62.19	78980	82050	647	781	122	105
55.39						

表 7 分離建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
85.89						
	2150	2540	128	104	17	24
82.19						
	12900	15060	288	323	45	47
74.09						
	32590	36340	435	528	75	69
67.29						
	50340	54480	524	652	96	84
62.19						
	66400	70390	623	775	107	91
55.39						

表 8 精製建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
79.2						
	6940	7370	148	192	47	38
73.7						
	29460	31520	322	418	91	75
65.5						
	49110	51830	406	527	121	98
60.4						
	64120	67030	470	610	136	110
53.6						

表 9 ウラン脱硝建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
81.7						
	660	640	83	23	8	28
76.7						
	3750	3720	207	129	18	29
68.9						
	5630	5610	248	164	23	34
65.5						
	6450	6450	285	195	23	33
62.1						
	8040	8040	346	247	23	33
55.3						

表 10 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
70.8						
	9830	9860	92	78	107	126
62.8						
	17790	17790	210	179	85	99
55.3						

表 11 ウラン酸化物貯蔵建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
68.5						
	4060	4240	79	80	51	53
64.05						
	5180	5400	112	113	46	48
61.13						
	7600	7890	170	172	45	46
55.3						

表 12 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
69.3						
	730	700	34	14	21	50
63.3						
	5360	5360	105	79	51	68
55.3						

表 13 高レベル廃液ガラス固化建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
84.79						
81.39	411	314	20	20	21	16
75.6	891	692	37	32	24	22
69.8	1193	958	53	42	23	23
62.8	24440	23400	329	275	74	85
55.39	41490	40290	463	373	90	108

表 14 低レベル廃液処理建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
72.1						
66.5	3140	3190	116	80	27	40
60.9	7160	7370	185	145	39	51
55.3	11040	11420	246	195	45	59

表 15 低レベル廃棄物処理建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
83.3						
74.8	19030	19250	288	281	66	69
67.3	35400	35620	482	473	73	75
61.3	47400	47710	613	602	77	79
55.3	57840	58240	708	697	82	84

表 16 チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
80.3						
	4910	5790	52	191	94	30
71.6						
	17370	18470	214	337	81	55
63.3						
	29540	30510	315	438	94	70
55.3						

表 17 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
73.15						
	7250	6390	69	53	105	121
68.8						
	13740	12310	191	150	72	82
60.3						
	18170	16760	238	187	76	90
56.8						
	26560	25310	238	187	112	135
47.8						

表 18 第2低レベル廃棄物貯蔵建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
67.3						
	4140	4050	126	102	33	40
60.8						
	9830	9630	188	169	52	57
55.3						

表 19 制御建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
72.65						
	1100	1010	36	78	31	13
66.25						
	4310	3630	231	139	19	26
61.25						
	4860	4590	251	184	19	25
54.75						

表 20 分析建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
73.24						
	1470	1240	206	150	7	8
66.24						
	10580	8950	355	222	30	40
60.57						
	15840	14000	454	269	35	52
55.3						

表 21 非常用電源建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
68.8						
	470	480	59	30	8	16
63.8						
	1610	1620	123	63	13	26
55.3						

表 22 主排気筒管理建屋の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
59.4						
	180	180	12	6	15	30
55.3						

表 23 安全冷却水 A 冷却塔の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
89.0	134.3	136.5	7.5	14.7	17.9	9.3
85.0	253.4	256.6	11.7	25.7	21.7	10.0
82.6	84.0	93.8	12.1	31.4	6.9	3.0
78.2	22.0	23.2	7.7	19.9	2.9	1.2

表 24 安全冷却水 B 冷却塔の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重	
	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
66.8	218.8	171.1	5.1	10.0	42.9	17.1
62.8	240.6	232.8	7.0	15.3	34.4	15.2
60.5	51.3	79.5	5.7	14.8	9.0	5.4
56.1	10.6	20.8	2.4	6.0	4.4	3.5

表 25 主排気筒の地震荷重と風荷重

(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重	風荷重		地震荷重/風荷重	
		I 方向*	II 方向*	I 方向	II 方向
205.0	121.4	7.9	7.9	15.4	15.4
195.0	179.6	27.3	30.6	6.6	5.9
185.9	228.6	28.3	32.1	8.1	7.1
177.0	276.4	39.5	45.8	7.0	6.0
165.5	305.0	44.1	51.3	6.9	5.9
154.0	368.1	59.1	69.7	6.2	5.3
139.2	399.2	62.6	73.7	6.4	5.4
124.3	481.8	81.6	97.3	5.9	5.0
105.0	533.5	97.9	117.6	5.4	4.5
85.5	589.9	140.0	170.3	4.2	3.5
55.5					

*: I 方向及びII 方向は下図のとおり。

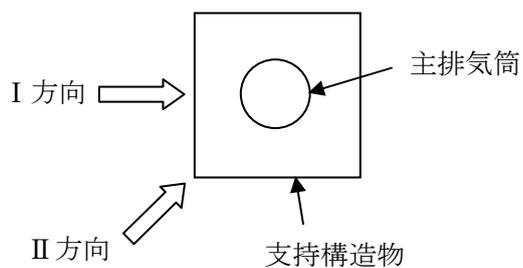


表 26 北換気筒の地震荷重と風荷重
(単位:tf)

標高 T.M.S.L. (m)	地震荷重	風荷重	地震荷重/風荷重
130.0			
	10.9	5.9	1.8
124.0			
	29.0	15.8	1.8
119.0			
	34.9	17.5	2.0
114.0			
	40.4	17.4	2.3
109.0			
	52.4	17.4	3.0
104.0			
	56.6	18.1	3.1
98.6			
	59.2	19.7	3.0
92.5			
	63.2	21.4	3.0
86.1			
	67.1	23.1	2.9
79.0			
	76.1	26.7	2.9
69.5			
	86.3	36.3	2.4
55.5			

表 27 第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の地震荷重と風荷重

(単位:kN)

標高 T.M.S.L. (m)		地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重		
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	
93.7	シャフト部							
		32710	24300	660	200	50	122	
87.5			54120	34760	1070	300	51	116
81.3			66490	43130	1470	380	45	114
75.1			73690	50320	1790	430	41	117
68.9	建物部							
		114520	96890	2680	1330	43	73	
61.5			137380	124430	3160	1890	43	66
55.3								

表 28 第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟の地震荷重と風荷重

(単位:kN)

標高 T.M.S.L. (m)		地震荷重		風荷重		地震荷重/風荷重		
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	
93.7	シャフト部							
		38780	23430	810	250	48	94	
87.5			61580	34350	1310	330	47	104
81.3			74520	42490	1800	410	41	104
75.1			85240	51460	2190	480	39	107
68.9	建物部							
		234890	176490	5750	1810	41	98	
61.5			279730	224150	6760	2360	41	95
55.3								

竜巻による影響評価

1. はじめに

竜巻による再処理施設への影響について評価する。竜巻とは、発達した積乱雲で上昇気流を伴う高速の渦巻きが発生し、それが地上付近にまで伸びたものとされる。気象庁では、「激しい空気の渦巻で、大きな積乱雲の底から漏斗状に雲が垂れ下がり、陸上では巻き上がる砂塵、海上では水柱を伴う」と定義している。なお、本資料において使用している気象データについては、気象庁ホームページから引用している。

2. 青森県の竜巻発生状況

1963～2011年の間に青森県で観測された竜巻は17件である。青森県で観測された竜巻の事例を表1に示す。

表1 青森県で観測された竜巻一覧

発生日時	発生場所
2011年8月13日17:32	青森県(海上)
2009年10月30日07:26	青森県 西津軽郡深浦町
2008年6月13日10:40	青森県 北津軽郡板柳町
2007年10月11日10:25頃	青森県(海上)
2007年10月11日09:55頃	青森県(海上)
2001年6月1日13:20	青森県 西津軽郡岩崎村 (現 青森県 西津軽郡深浦町)
1986年9月7日11:30頃	青森県 弘前市
1981年7月15日16:00頃	青森県 南津軽郡田舎館村
1976年9月23日13:30頃	青森県 八戸市
1973年6月22日14:35頃	青森県 南津軽郡田舎館村
1972年8月4日11:52	青森県 三戸郡倉石村 (現 青森県 三戸郡五戸町)
1970年8月25日13:00頃	青森県 五所川原市
1968年1月26日00:30頃	青森県 北津軽郡金木町 (現 青森県 五所川原市)
1966年10月5日16:02頃	青森県 青森市
1965年9月5日11:40	青森県 むつ市
1963年7月14日14:00頃	青森県 十和田市
1963年7月14日13:55頃	青森県 十和田市

3. 竜巻の指標

強風被害を定量的に表す指標としては、最大風速や最大瞬間風速が用いられるが、竜巻の場合は、観測所を通過する確率が非常に低いため、被害等から推定することしかできない。そのため、いくつかの指標が考案されており、現在では、藤田スケールが一般的に用いられている。(表 2 参照) 被害が大きいほど F の値が大きく、風速が大きかったことを示す。なお、日本ではこれまで F4 以上の竜巻は観測されていない。

表 2 藤田スケールの指標

F0	17~32m/s (約 15 秒間の平均風速)	テレビのアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33~49m/s (約 10 秒間の平均風速)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木は幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50~69m/s (約 7 秒間の平均風速)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70~92m/s (約 5 秒間の平均風速)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車はもち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93~116m/s (約 4 秒間の平均風速)	住家がバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1 トン以上ある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117~142m/s (約 3 秒間の平均風速)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

4. 竜巻による影響

青森県で発生した竜巻で最大規模のものは、1965 年 9 月 5 日にむつ市で発生した F2 の竜巻である。F2 の推定風速は、50~69m/s であり、八戸特別地域気象観測所及びむつ特別地域気象観測所で観測された最大瞬間風速である

41.3m/s を大きく上回る。ただし、再処理施設のほとんどの設備は、旧建築基準法施行令第 87 条に基づき、瞬間風速約 63m/s を想定して風荷重が算定されている。さらに、耐震評価により、風荷重より大きい地震荷重で建屋健全性を確認しており、竜巻による風荷重が建屋へ影響を及ぼすことは考えられない。

5. 竜巻により巻き上げられた重量物による影響

F2の竜巻規模では、自動車が道から吹き飛ばされるとされており、重量物が舞い上がり、それが施設へ衝突する可能性がある。ただし、再処理施設の主要な建屋においては、航空機（質量:20t、速度:150m/s）が衝突しても影響が生じないよう対策、あるいは安全上重要な構築物は分散配置する等の対策を講じており、竜巻により巻き上げられた重量物の衝突により、再処理施設の主要な施設に影響を及ぼすことは考えられない。

なお、竜巻の多い米国では、原子力施設において、設計上考慮しなければならない竜巻及び竜巻による飛散物が示されており、風速112m/sの場合に設計上考慮しなければならない飛散物は、質量1814.4kgで最大水平速度が42.4m/sの自動車とされている。これと比較しても、再処理施設で考慮されている航空機は、評価として十分に安全側である。

6. まとめ

青森県は竜巻の発生数が少なく、仮に竜巻が発生したとしても、風荷重より大きい地震荷重で建屋健全性を確認しており、竜巻により直接建屋へ影響を及ぼすことは考えられない。また、竜巻により巻き上げられた重量物が建屋へ衝突しても飛来物防護設計を講じていることから、建屋に影響を及ぼすことは考えられない。

大雨による影響評価

1. はじめに

大雨による再処理施設への影響について評価する。評価に当たっては、再処理事業指定申請書で採用している八戸特別地域気象観測所（旧八戸測候所：1936年観測開始）及びむつ特別地域気象観測所（旧むつ測候所：1935年観測開始）（以下、両者を合わせて「八戸・むつ観測所」という。）における降水量データから、10分間、1時間及び24時間の最大値を調査し、短期・中期・長期に分けて、建屋への浸水リスクを評価する。なお、本資料において使用している気象データについては、気象庁ホームページから引用している。

2. 全国の降水量の傾向

図1に30年間（1981～2010年）の降水量の年平均値の分布を示す。特徴として、北陸地方及び南海地域で降水量が多く、全国的に見て六ヶ所地域は特段降水量が多い地域ではない。

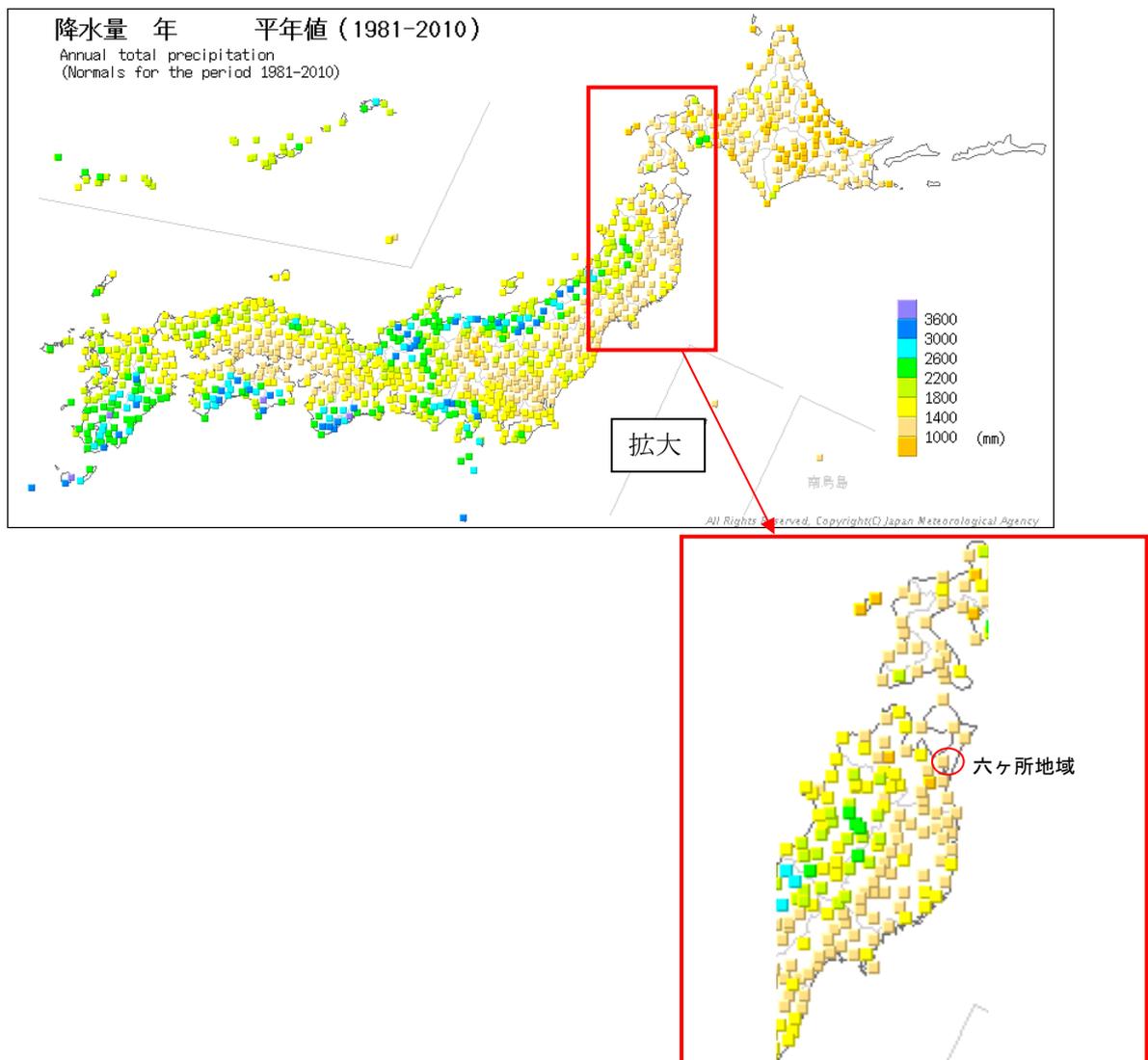


図1 全国の30年間（1981～2010年）の降水量の年平均値の分布

次に、気象評価として、八戸・むつ観測所を対象とし、過去の降水量について調査を行った。

気象庁の観測データでは10分間、1時間及び24時間単位での降水量が記録されており、八戸・むつ観測所での10分間、1時間、24時間それぞれの最大値を表1に示す。

表1 降水量の最大値

	観測所	観測日	記録
10分間	むつ	1990年10月18日	22.5mm
1時間	八戸	1969年8月5日	67.0mm
24時間	むつ	1981年8月22日	224.0mm

むつ特別地域気象観測所において、10分間最大値22.5mm/10minを観測した1990年10月18日午前5時の1時間降水量は32.0mm/hであり、その前後の時間帯の降水量は0mm/hである。また、同日の1日降水量は32.5mm/dayであり、当日の降水量の約70%は、10分間最大を観測した10分間に降ったことを確認した。

次に、むつ特別地域気象観測所において、24時間最大値224.0mm/dayを観測した1981年8月22日の1時間降水量の変化を図2に示す。当日の1時間最大降水量は、午前10時の27.0mm/hであった。

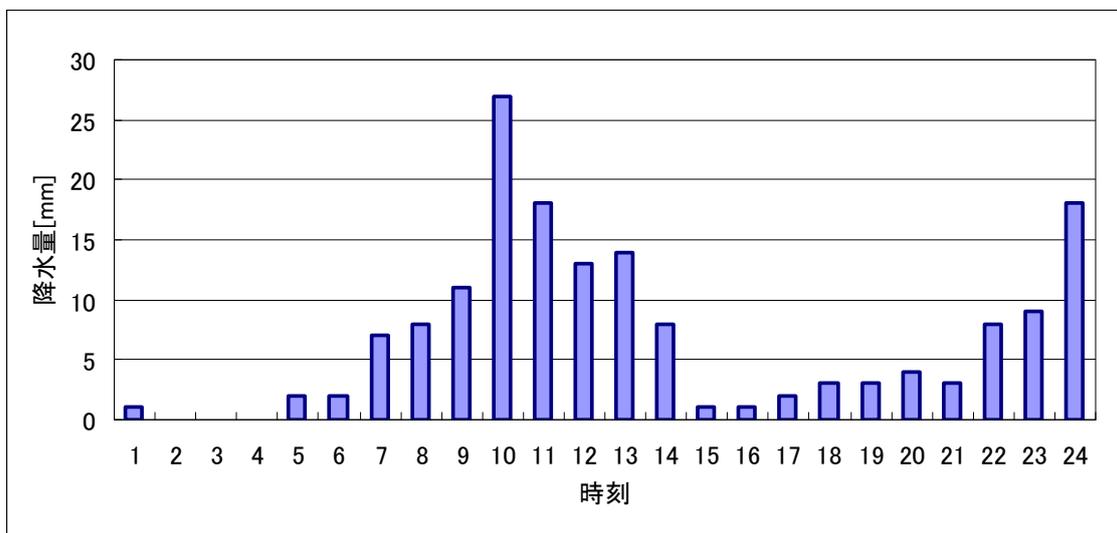


図2 1981年8月22日の1時間降水量の変化 (むつ)

上記のことから、10分間最大値として観測した22.5mm/10minの降雨は、1時間以内に収束し、24時間最大値として観測した224.0mm/dayの降雨は、断続的に降り続いていたことがわかる。

3. 建屋への浸水リスクに対する評価方法

(1) 評価対象

再処理事業所内の雨水排水能力と建屋開口部高さの関係から、浸水に対するリスクを評価するに当たって、2. に基づき、以下のように短期（1時間）、中期（1日）及び長期（1ヶ月）に分けて評価する。

より厳しい条件での評価を行うという観点から、以下の値を用いて評価を行うこととした。

- ① 短期の評価では、10 分間最大値として観測した降水量 22.5mm/10min が 1 時間継続した場合の降水量を用いる。
- ② 中期の評価では、1 時間最大値として観測した降水量 67.0mm/h が 1 日継続した場合の降水量を用いる。
- ③ 長期の評価では、24 時間最大値として観測した降水量 224.0mm/day が 1 ヶ月継続した場合の降水量を用いる。

(2) 評価条件（図 3 参照）

- ・ 排水設備以外の再処理施設境界フェンスでの雨水の流出入はないものとする。
- ・ 降水は全て路面へ流れ落ちることとする。
- ・ 雨水の敷地外への排出経路は排水路のみとする。
- ・ 施設敷地内に傾斜はなく、排水能力を超えた雨水は均一に拡散するものとする。
- ・ 建屋地下のサブドレン排水設備から汲上げた地下水量も考慮する。
- ・ 水位が建屋開口部高さに到達した時点をも浸水とする。

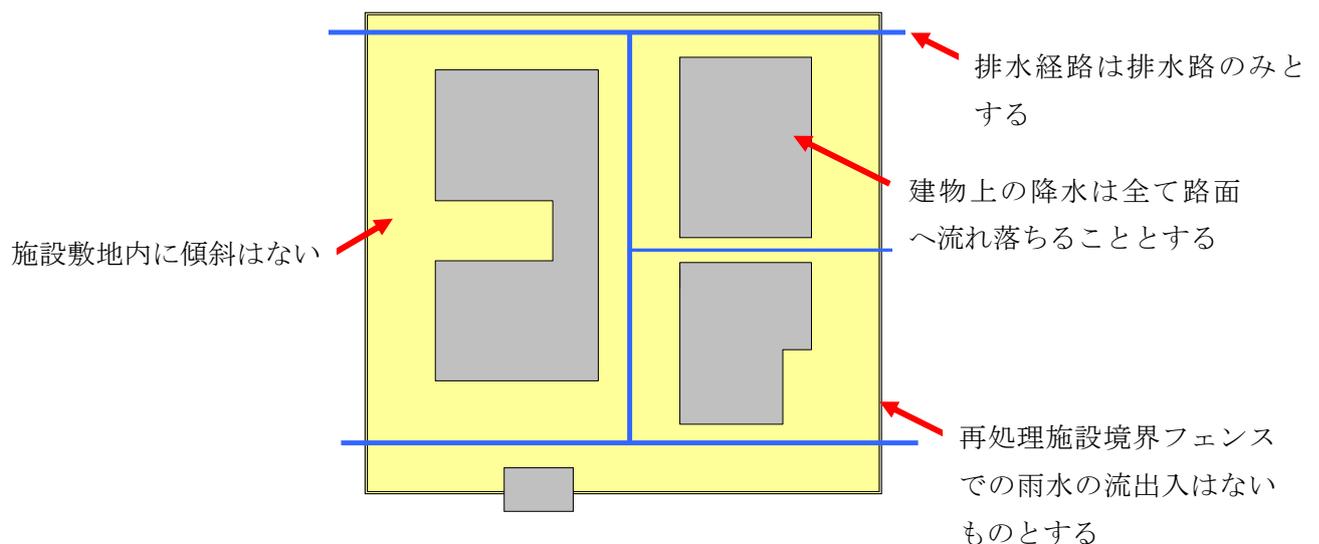


図 3 評価条件概念図

(3) 再処理事業所の排水能力

構内排水路の設計では、「再処理事業所 構内道路排水側溝計算における基本方針」に基づき、設計降雨強度を 97.8mm/h として設定し、これに安全率を 1.2 として排水路を設計しているため、設計値は $97.8\text{mm/h} \times 1.2 = 117.3\text{mm/h}$ である。

この設計値 117.3mm/h を 1 分あたりに換算すると 1.96mm/min となるため、本評価で用いる再処理事業所外へ雨水を排出する排水路の排水可能降雨強度を 1.96mm/min とする。

(4) 再処理事業所の敷地面積

再処理施設境界フェンス内の敷地面積及び建屋構造物面積は以下の値とする。

- ・再処理事業所の敷地面積:562,000m²
- ・再処理事業所敷地内の建屋、構造物の面積:155,500m²
- ・各建屋で最も低い開口部高さ:300mm

(5) 地下水排水設備からの排水量

建屋周辺にはサブドレン、集水管、集水ピットから構成されるサブドレン排水設備が設置されており、集水ピットの水位が一定のレベルに達するとサブドレン排水ポンプが自動起動し、地下水を汲上げる。この地下水は、排水溝に排水されるため、サブドレン排水設備の全ポンプが一斉に稼動することを仮定し、その合計排水能力 19.8m³/min を雨水と足し合わせて評価を行う。

4. 評価

上記の条件に基づき、3. (1) にまとめた①～③を用いて評価を行った。

① 短期評価

敷地全体の1分当たりの雨水総体積は、以下のとおり。

$$562,000\text{m}^2 \times 0.00225\text{m}/\text{min} = 1,264.5\text{m}^3/\text{min}$$

建屋を除く敷地の面積は以下のとおり。

$$562,000\text{m}^2 - 155,500\text{m}^2 = 406,500\text{m}^2$$

敷地内の雨水全てと地下水最大排出量とを合計し、水位上昇率 X_0 は、以下のとおり。

$$X_0 = (1,264.5\text{m}^3/\text{min} + 19.8\text{m}^3/\text{min}) / 406,500\text{m}^2 = 0.0032\text{m}/\text{min}$$

排水溝により排水を考慮したときの水位上昇率 X は以下のとおり。

$$X = 3.2\text{mm}/\text{min} - 1.96\text{mm}/\text{min} = 1.24\text{mm}/\text{min}$$

水位上昇率 $1.24\text{mm}/\text{min}$ による1時間後の水位は 74.4mm である。各建屋での最も低い開口部高さは 300mm であることから、短期評価として10分間最大降雨 ($22.5\text{mm}/10\text{min}$) が1時間継続したとしても、建屋が浸水することはない。なお、10分間最大降雨が4時間以上継続すると、開口部からの浸水が考えられるが、過去のデータからも浸水のリスクは極めて低いと評価できる。

② 中期評価

敷地全体の1分当たりの雨水総体積は以下のとおり。

$$562,000\text{m}^2 \times 0.00112\text{m}/\text{min} = 629.4\text{m}^3/\text{min}$$

建屋を除く敷地の面積は以下のとおり。

$$562,000\text{m}^2 - 155,500\text{m}^2 = 406,500\text{m}^2$$

敷地内の雨水全てと地下水最大排出量とを合計した場合の水位上昇率 X_0 は以下のとおり。

$$X_0 = (629.4\text{m}^3/\text{min} + 19.8\text{m}^3/\text{min}) / 406,500\text{m}^2 = 0.0016\text{m}/\text{min}$$

一方、排水量は $1.96\text{mm}/\text{min}$ であり、降水量に対して排水能力が上回っている。

よって、建屋への浸水リスクはないと評価できる。

③長期評価

敷地全体の1分当たりの雨水総体積は以下のとおり。

$$562,000\text{m}^2 \times 0.000155\text{m}/\text{min} = 87.1\text{m}^3/\text{min}$$

建屋を除く敷地の面積は以下のとおり。

$$562,000\text{m}^2 - 155,500\text{m}^2 = 406,500\text{m}^2$$

敷地内の雨水全てと地下水最大排出量とを合計した場合の水位上昇率 X_0 は以下のとおり。

$$X_0 = (87.1 \text{ m}^3/\text{min} + 19.8\text{m}^3/\text{min}) / 406,500\text{m}^2 = 0.00026\text{m}/\text{min}$$

一方、排水量は1.96mm/minであり、降水量に対して排水能力が上回っている。

よって、建屋への浸水リスクはないと評価できる。

5. まとめ

八戸・むつ観測所における10分間、1時間及び24時間の最大値を用いて、建屋への浸水リスク評価を行った。その結果、10分間最大値22.5mm/10minで1時間の降雨に対する短期評価では建屋が浸水することはないこと、並びに、1時間最大値67.0mm/hで24時間の降雨に対する中期評価及び24時間最大値224.0mm/dayで1ヶ月の降雨に対する長期評価では、降水量に対して排水能力が上回っているため浸水のリスクはないことを確認した。

熱波・寒波による影響評価

1. はじめに

熱波・寒波による再処理施設への影響について評価する。評価に当たっては、六ヶ所地域の過去の最高気温及び最低気温を調査し、熱波・寒波が再処理施設に与える影響について評価する。なお、本資料において使用している気象データについては、気象庁ホームページから引用している。

2. 六ヶ所地域の気温

気象評価として、再処理事業指定申請書で採用している八戸特別地域気象観測所（旧八戸測候所：1936年観測開始）及びむつ特別地域気象観測所（旧むつ測候所：1935年観測開始）（以下、両者を合わせて「八戸・むつ観測所」という。）を対象とし、過去の最高気温及び最低気温について調査を行った。

八戸・むつ観測所の過去のデータから、最高気温は、1978年8月3日に八戸特別地域気象観測所で観測した37.0℃であり、最低気温は、1984年2月18日にむつ特別地域気象観測所で観測した-22.4℃である。（表1及び表2参照）

表1 八戸・むつ観測所での最高気温

観測地	観測日	記録
八戸	1978年8月3日	37.0℃
むつ	2010年8月6日	34.5℃

表2 八戸・むつ観測所での最低気温

観測地	観測日	記録
八戸	1953年1月3日	-15.7℃
むつ	1984年2月18日	-22.4℃

3. 設備に対する影響評価

熱波・寒波のような外気条件の変化が、機能に直接影響を与える可能性がある安全上重要な施設には、以下に示す「屋外に設置している設備」、または「外気を直接引き込んでいる設備」がある。

- ・屋外に設置している設備
安全冷却水系冷却塔
- ・外気を直接引き込んでいる設備
安全圧縮空気系空気圧縮機

以下にこれらの設備を有している系統を対象として、熱波・寒波による影響評価を行った。

(1) 安全冷却水系

安全冷却水系冷却塔は、熱交換器、非常用ディーゼル発電機等を冷却した安全冷却水を外気により冷却する設備である。本設備は使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設と再処理施設本体にそれぞれ 2 系統設置している。再処理施設本体の安全冷却水系（外部ループ）の概要を図 1 に示す。

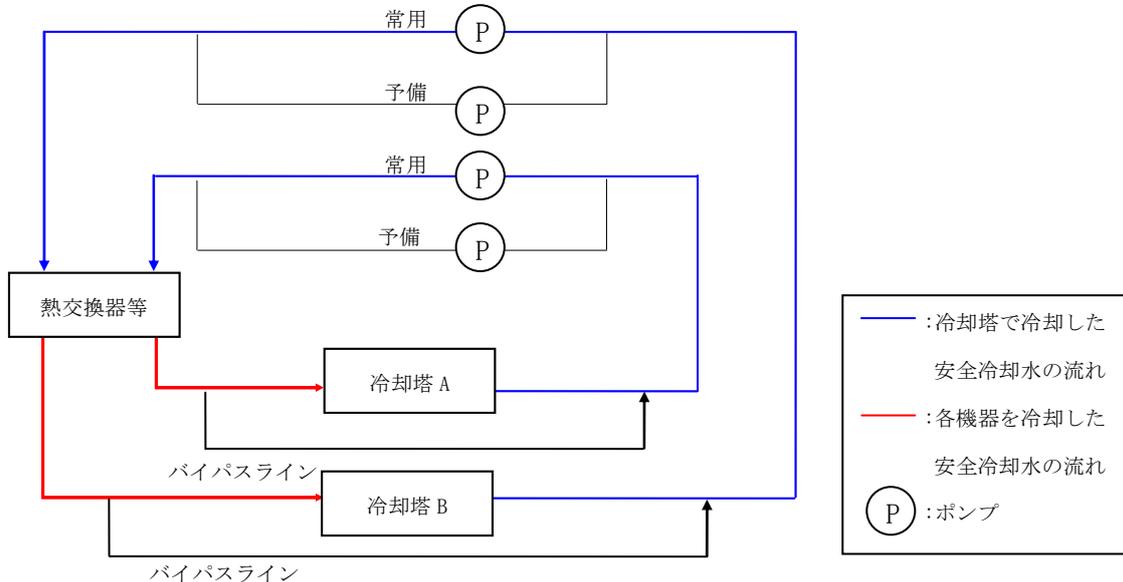


図 1 再処理施設本体の安全冷却水系（外部ループ）の概要

a. 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の安全冷却水系

(a) 運転方法

通常時は、冷却ファンを起動状態とし、バイパスライン流量の制御等により安全冷却水の温度を一定に保っている。外気温が低下した場合は、凍結防止対策として、バイパスラインを閉止し、冷却ファン起動台数等を調節している。

(b) 熱波に対する影響評価

①過去 2 年間における運転実績

過去 2 年間 (2010 年度及び 2011 年度) の外気温度、安全冷却水温度、燃料貯蔵プール水温度の推移を図 2 に示す。当該期間では、2011 年 8 月 10 日に 34.2℃の最高気温を記録しており、このときの安全冷却水温度は A 系で 34.6℃、B 系で 33.2℃、燃料貯蔵プール水温度は 32.4℃であった。

通常、安全冷却水温度が 25℃となるように制御を行っているが、外気温度が 25℃を超えると、安全冷却水温度及び燃料貯蔵プール水温度がともに上昇する。

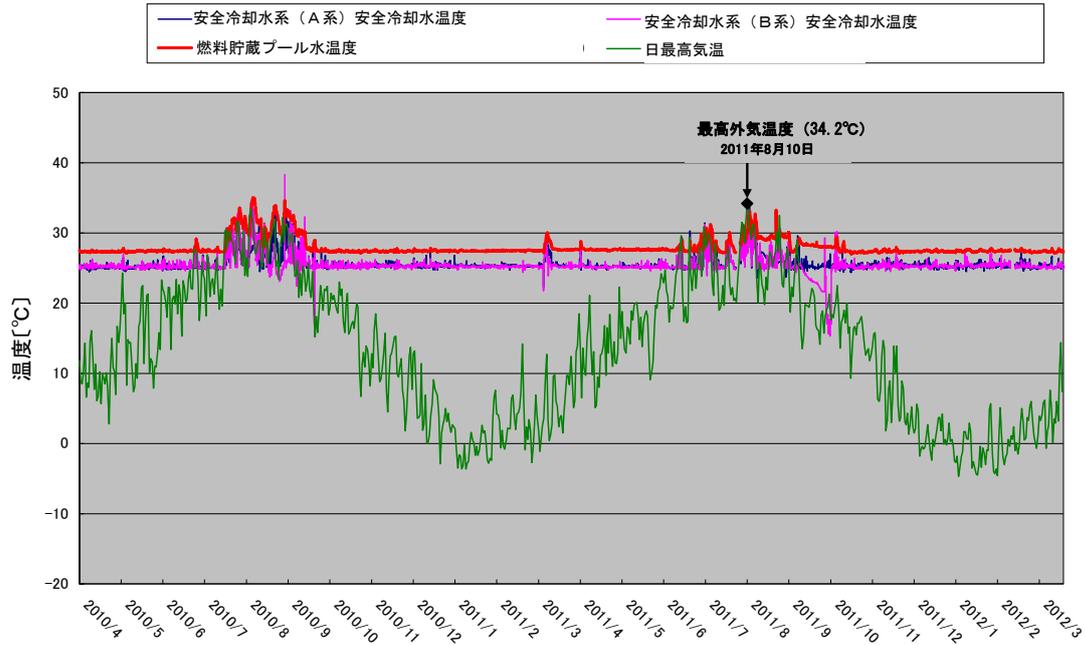


図2 過去2年間の外気温度及び安全冷却水温度等の推移

②外気温度条件の評価

燃料貯蔵プール水温度は、燃料貯蔵プールを構成しているコンクリートの健全性を保つ目的から 65°C以下に保つこととしている。そこで、プール水冷却系において、燃料貯蔵プール水温度を 65°C以下に保つために必要な安全冷却水温度を求め、さらにこの安全冷却水温度を維持するための外気温度の上限を求めた。プール水冷却系及び安全冷却水系の系統概要図を図3に示す。

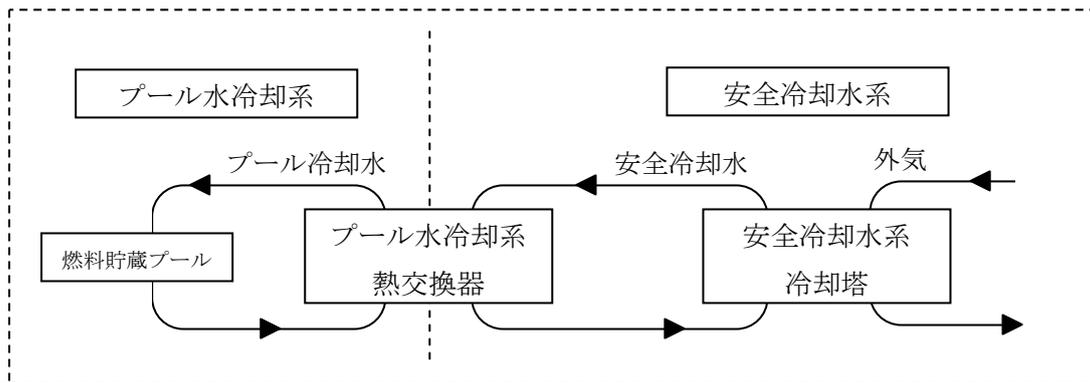


図3 プール水冷却系及び安全冷却水系の系統概要図

その結果、燃料貯蔵プール水温度を 65°C以下に保つために必要な安全冷却水温度は 54.4°Cであり、この安全冷却水温度を維持するための外気温度の上限は 47.3°Cであった。

③ 熱波による影響評価

②に示した結果から、燃料貯蔵プールのプール水温度を 65°C以下に保つための外気温度の上限は 47.3°Cである。また、八戸・むつ観測所における過去の観測データでの最高温度は 37.0°Cであり、外気温度が上限である 47.3°Cに達する可能性は極めて低いと考えられることから、熱波による施設への影響はないと評価できる。

(c) 寒波に対する影響評価

①過去2年間における運転実績

過去2年間（2010年度及び2011年度）の外気温度、安全冷却水温度及び燃料貯蔵プール水温度の推移を図4に示す。当該期間では、2012年2月4日に-12.6°Cの最低気温を観測しており、このときの安全冷却水温度はA系で24.1°C、B系で24.7°C、燃料貯蔵プール水温度は27.3°Cであった。

外気温度が氷点下となった場合でも、安全冷却水温度及び燃料貯蔵プール水温度ともに安定して推移していた。

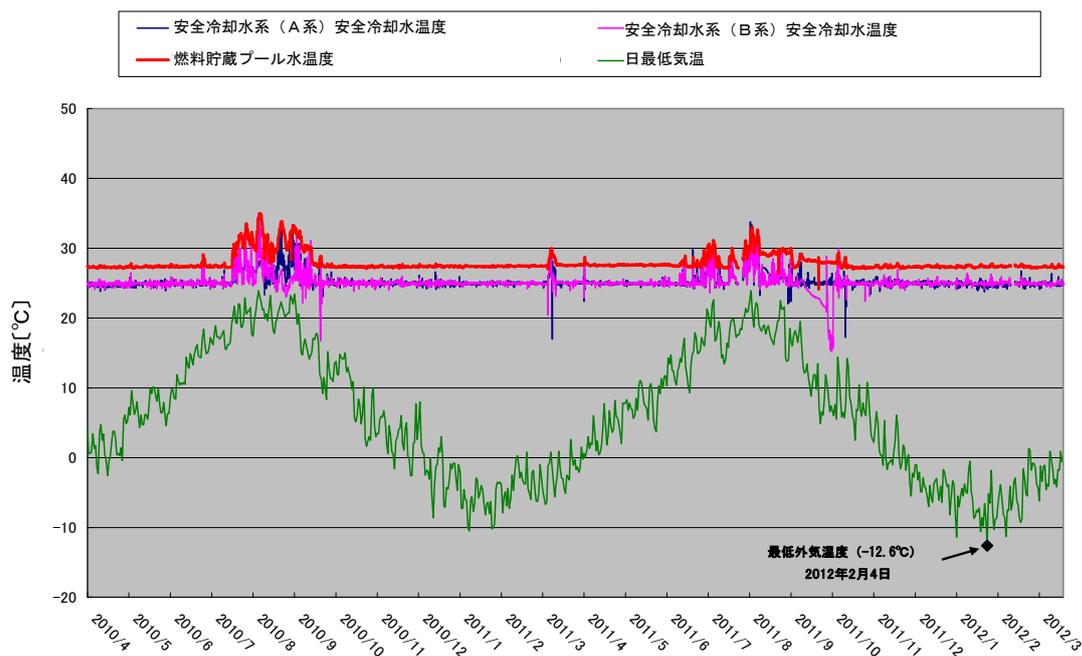


図4 過去2年間の外気温度及び安全冷却水温度等の推移

②寒波による影響評価

①に示したように、外気温度が氷点下となった場合でも安全冷却水温度は影響を受けることなく安定して推移していた。また、この最低外気温度は、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の運転開始以降の最低気温であり、外気の影響を受けることなくこれまで運転を実施してきたことを確認した。

一方、八戸・むつ観測所における最低気温はさらに低い温度であるが、これに対して評価を行うためのデータがなく、影響が生じる可能性について完全には否定できないが、凍結等により安全冷却水系の機能喪失に至った場合の評価は、「安全冷却水系（使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設）及びプール水冷却系の機能喪失による燃料貯蔵プールにおける沸騰」に包含されることから、寒波による影響としての評価は行わない。

b. 再処理施設本体の安全冷却水設備

(a) 運転方法

基本的に使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の安全冷却水系冷却塔と同様の設備構成であり、運転方法も同様である。

(b) 熱波に対する影響評価

①過去2年間における運転実績

過去2年間（2010年度及び2011年度）の外気温度及び安全冷却水系（外部ループ）の安全冷却水温度の推移を図5に示す。当該期間では、2010年8月10日に34.2℃の最高気温を記録しており、このときの安全冷却水系（外部ループ）の安全冷却水温度はA系で32.0℃、B系で32.7℃であった。

通常、安全冷却水系（外部ループ）の安全冷却水温度が約25℃となるように制御を行っているが、外気温度が25℃を超えると、安全冷却水系（外部ループ）の安全冷却水温度は上昇する傾向にある。

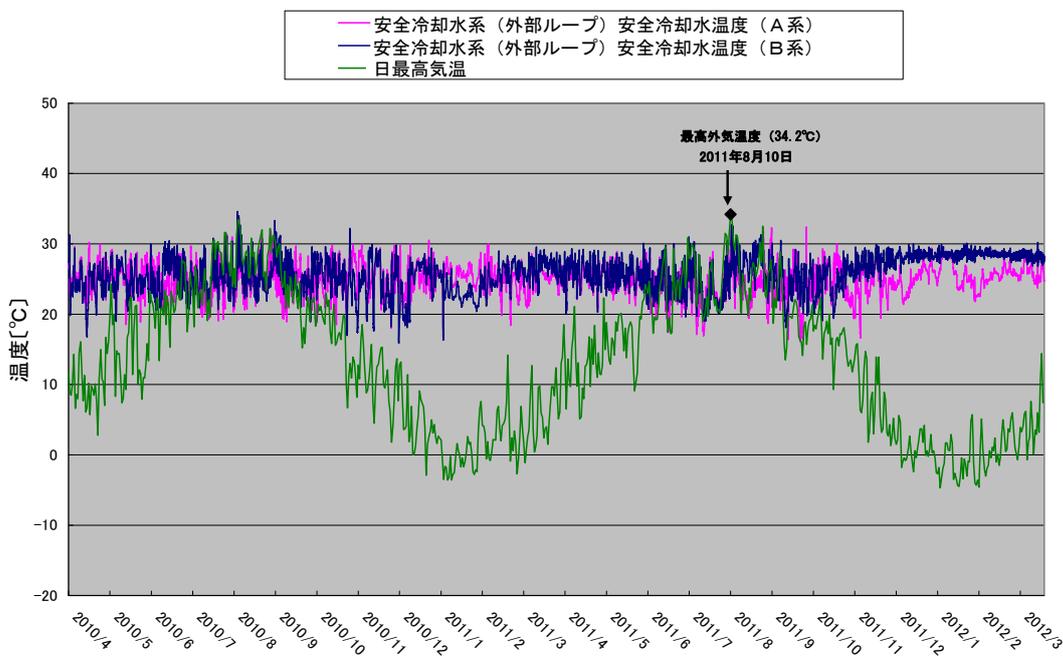


図5 過去2年間の外気温度及び安全冷却水温度の推移

②外気温度条件の評価

再処理施設各建屋の冷却能力維持のため、安全冷却水系（外部ループ）の安全冷却水温度を 60°C 以下としている。そこで、安全冷却水系（外部ループ）安全冷却水温度を 60°C 以下に保つために必要な外気温度の上限を求めた。安全冷却水系の系統概要図を図 6 示す。

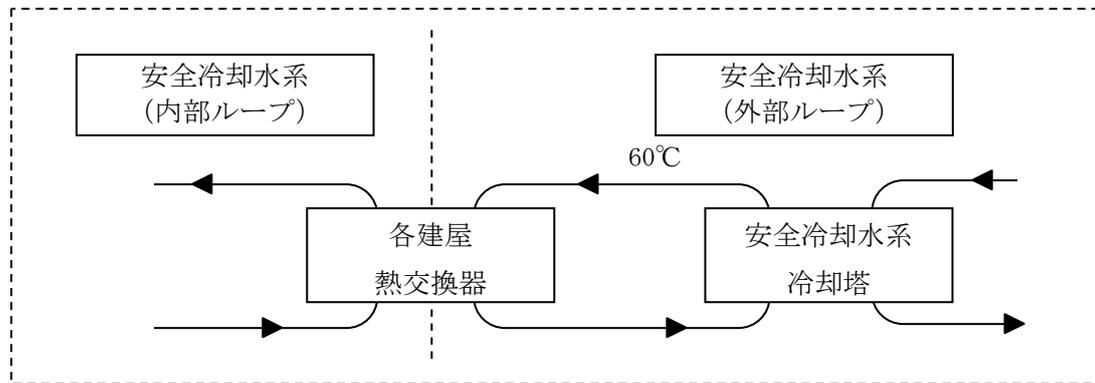


図 6 安全冷却水系の系統概要

その結果、安全冷却水系（外部ループ）安全冷却水温度を 60°C 以下に保つために必要な外気温度の上限は 48.7°C であった。

③熱波による影響評価

②に示した結果から、安全冷却水系（外部ループ）安全冷却水温度を 60°C 以下に保つために必要な外気温度の上限は 48.7°C である。また、八戸・むつ観測所における過去の観測データでの最高温度は 37.0°C であり、外気温度が上限である 48.7°C に達する可能性は極めて低いと考えられることから、熱波による施設への影響はないと評価できる。

(c) 寒波による影響評価

①過去 2 年間における運転実績

過去 2 年間（2010 年度及び 2011 年度）の外気温度及び安全冷却水系（外部ループ）安全冷却水温度の推移を図 7 示す。

当該期間では、2012 年 2 月 4 日に -12.6°C の最低気温を観測しており、このときの安全冷却水系（外部ループ）安全冷却水温度は A 系で 24.4°C 、B 系で 27.5°C であった。

外気温度が氷点下となった場合でも、安全冷却水系（外部ループ）安全冷却水温度は安定して推移している。

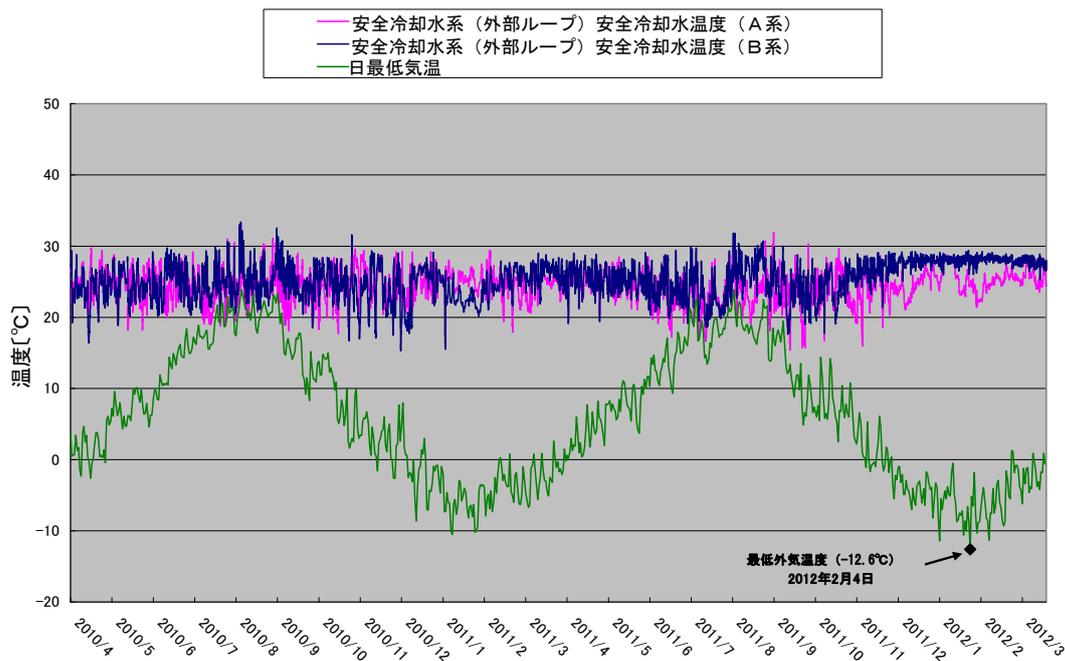


図7 過去2年間の外気温度及び安全冷却水温度の推移

②寒波による影響評価

①に示したように、外気温度が氷点下となった場合でも安全冷却水温度は影響を受けることなく安定して推移している。また、この外気温度は、再処理施設本体が使用済燃料等の処理を開始して以降の最低気温であり、外気の影響を受けることなくこれまで運転を実施してきたことを確認した。

一方、八戸・むつ観測所における最低気温はさらに低い温度であるが、これに対して評価を行うためのデータがなく、影響が生じる可能性について完全には否定できないが、凍結等により安全冷却水系の機能喪失に至った場合の評価は、「安全冷却水系の機能喪失による放射性物質を含む溶液の沸騰」に包含されることから、寒波による影響としての評価は行わない。

(2) 安全圧縮空気系空気圧縮機

安全圧縮空気系空気圧縮機は、1段シリンダの吸気側空気室にねずみ鋳鉄(FC250)を使用しており、この材料は低温脆性を有する(2段シリンダ以降は断熱圧縮により、空気温度が上昇することから、低温脆性は問題とはならない)。このねずみ鋳鉄は、JIS B 8270-1993には0°C未満の基本許容応力が記載されておらず、0°C未満では使用しないこととしている。

ただし、1段シリンダの吸気側空気室と冷却水ジャケットを隔てたシリンダ壁の温度評価から、設計条件での最低気温である-16°Cのときのシリンダ壁表面温度が0°C以上になることを確認している。

上記のように、再処理施設本体が使用済燃料等の処理を開始して以降の最低気温は、 -12.6°C であり、設計では、これよりも低い温度で評価を行っているものの、八戸・むつ観測所における最低気温は更に低い温度であり、影響が生じる可能性について完全には否定できない。このため、外気温度の低下により安全圧縮空気系の機能喪失に至った場合の評価は、「安全圧縮空気系の機能喪失による水素の爆発」に包含されることから、寒波による影響としての評価は行わない。

熱波については、安全圧縮空気系空気圧縮機は断熱圧縮により空気温度が上昇する構造となっているため、耐熱性の高い材料を用いており、機能喪失に至るような影響はない。

また、このほかに温度変化の影響を受けやすい設備として、計測制御設備がある。再処理施設の計測制御設備はプロセス全体を制御している一般監視設備盤と安全監視制御盤で構成されている。前者はコンピュータ制御を採用しており、仮に熱波または寒波により制御機能に影響を受けても、リレー回路等で構築された耐熱性の優れた安全監視制御盤により安全に工程を停止できることから、安全性に影響が生じることはない。

4. まとめ

熱波・寒波のような外気条件が直接その機能に影響を与える可能性がある安全上重要な施設には、①安全冷却水系冷却塔、②安全圧縮空気系空気圧縮機があり、これらの設備を有しているシステムを対象に評価を行った。その結果、熱波に対しては、設備能力に十分な裕度があるか、もしくは耐熱性が高いために機能喪失に至るような影響はないと評価できる。また、寒波に対しては、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の運転開始、再処理施設本体の使用済燃料処理開始以降に確認された最低気温に対して影響を受けることがなかった、または、設計条件が、再処理施設本体の使用済燃料処理開始以降に確認された最低気温よりも厳しい条件であることを確認した。

さらに、寒波により機能維持ができることを確認した範囲を超えて外気温度が低下することにより機能喪失に至る場合の評価は、「安全冷却水系（使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設）及びプール水冷却系の機能喪失による燃料貯蔵プールにおける沸騰」、「安全冷却水系の機能喪失による放射性物質を含む溶液の沸騰」及び「安全圧縮空気系の機能喪失による水素の爆発」に係る評価の中で行うこととする。

豪雪による影響評価

1. はじめに

豪雪による再処理施設への影響について評価する。評価に当たっては、六ヶ所地域の過去の積雪量を調査し、積雪荷重による再処理施設への影響について評価するとともに、設計上考慮している雪害対策、構内の除雪及び排雪等の整備状況について取りまとめた。なお、本資料において使用している気象データについては、気象庁ホームページから引用している。

2. 全国の積雪深度の傾向

図1に30年間（1981～2010年）の最深積雪年平年値の分布を示す。北海道～山陰地方の日本海側で高い積雪がみられ、太平洋側に面する六ヶ所地域は降雪量が多いものの豪雪地帯ではない。

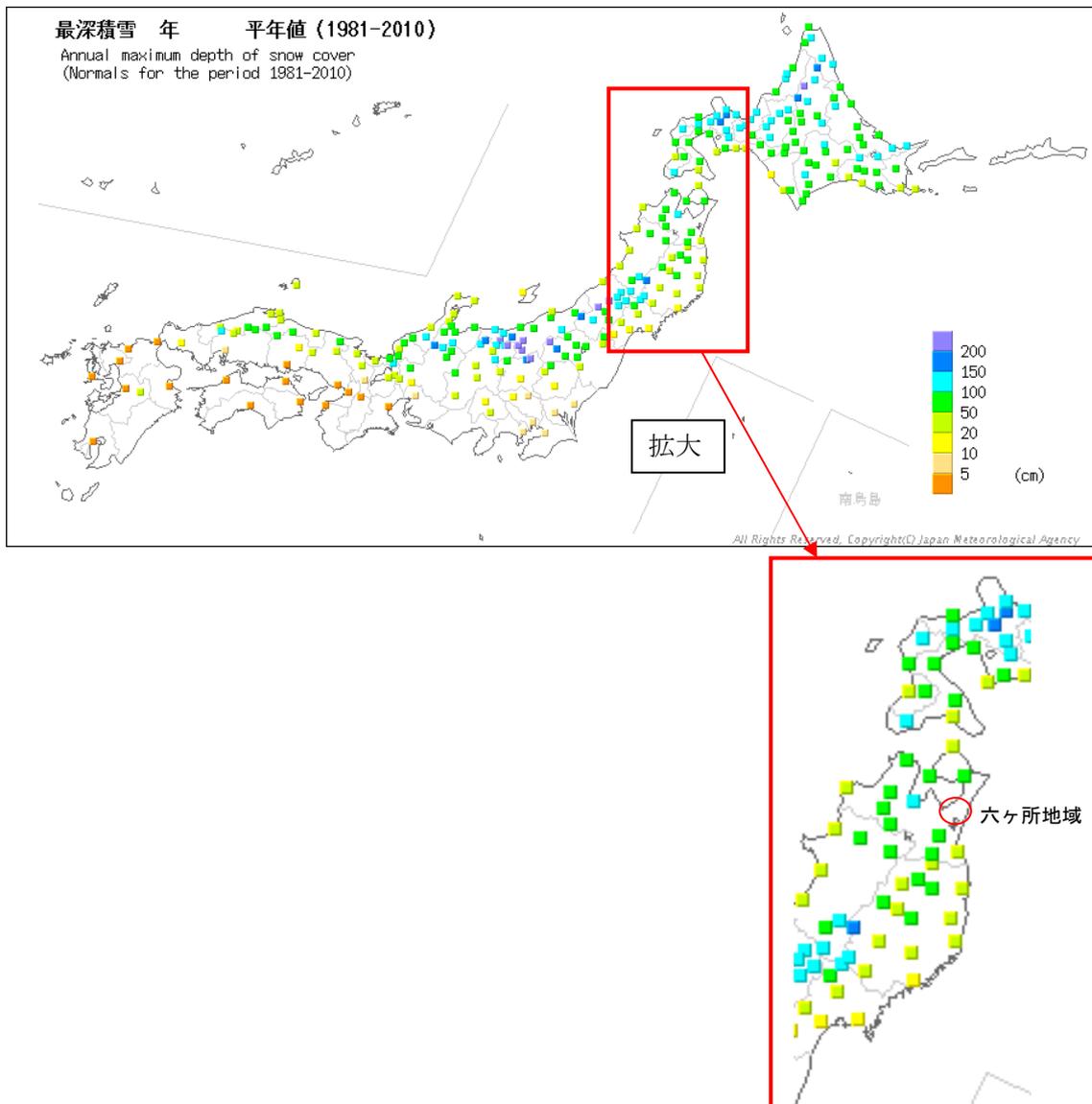


図1 全国の30年間（1981～2010年）の最深積雪年平年値

次に、気象評価として、再処理事業指定申請書で採用している八戸特別地域気象観測所(旧八戸測候所:1936年観測開始)及びむつ特別地域気象観測所(旧むつ測候所:1935年観測開始)(以下、両者を合わせて「八戸・むつ観測所」という。)を対象とし、過去の年最深積雪について調査を行った。

八戸・むつ観測所での過去の最深積雪を表1に示す。各々の気象観測所の過去の最深積雪を見ると、1977年2月15日にむつ特別地域気象観測所で記録した170cmが最高である。

表1 八戸・むつ観測所での最深積雪

観測地	観測日	記録
八戸	1977年2月16日	92cm
むつ	1977年2月15日	170cm

3. 積雪荷重に対する設計

雪害、凍結等を考慮した建物・構築物及び屋外設置設備の設計を行うため、「再処理事業部 積雪・寒冷対策基準」を施行している。本基準に基づき、安全上重要な施設を有する建物、屋外設置の安全上重要な施設及び耐震 B クラス以上の建物・構築物は、単位荷重 $30\text{N}/\text{m}^2\cdot\text{cm}$ で 190cm の積雪荷重を条件として、構造設計を行っている。このように、八戸・むつ観測所の最深積雪 170cm よりも厳しい条件で、建物・構築物等を設計している。

4. 外気取入口及び排気口の閉塞防止対策

第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び西棟では、ガラス固化体から発生する崩壊熱に応じて生じる通風力によって流れる冷却空気により、ガラス固化体の崩壊熱を適切に除去する設計としている。そのため、外気取入口及び排気口が雪で閉塞することで、崩壊熱除去機能の喪失に至らないよう、以下の事項を考慮している。

- ・外気取入口及び排気口は、積雪量を考慮した高さに設置する設計としており、地上から外気取入口のフード下端までの高さを 6m、排気口は 34.3m としている。(図2 参照)
- ・雪が外気取入口内に入るのを防止するため、外気取入口は、風による影響を受けにくい形状とすることで、外気取入口での風速を遅くするよう考慮している。
- ・外気取入口及び排気口は、冬期卓越風向(冬期において一番吹きやすい風向:西及び西南西)に原則設置しないこととしており、第1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び西棟については、外気取入口は北方向、排気口は南北方向に開口部を設けている。(図3 参照)

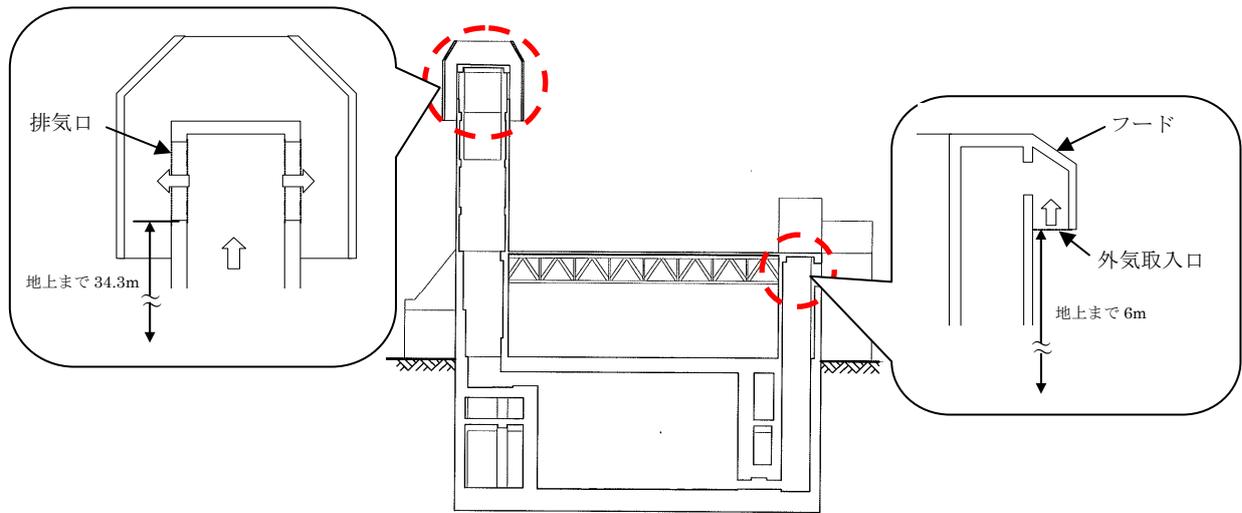


図2 第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟断面図（南北方向）

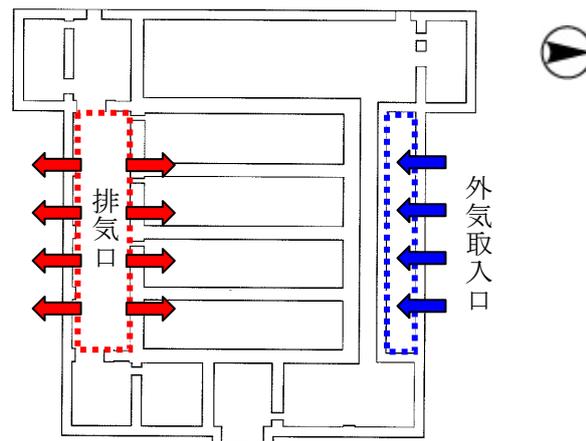


図3 第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟平面図

なお、第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び西棟以外の建屋についても上記と同様の対策を設計に取入れている。

5. 構内道路の除雪及び排雪

電源車や消防車等が走行する構内道路、全交流電源喪失時に電源車を接続する配電盤並びに水素滞留防止機能喪失時に起動するエンジン付き空気コンプレッサーから空気貯槽までのホース・ケーブル引き回しルート等の周辺について、冬季は毎日夜間パトロールを実施し、積雪状況に応じて除雪及び排雪を行うことにより、有事に備えた整備を実施している。

6. まとめ

安全上重要な施設を有する建物、屋外設置の安全上重要な施設及び耐震 B クラス以上の建物・構築物は、八戸・むつ観測所の最深積雪 170cm よりも厳しい 190cm の積雪荷重を条件として、構造設計を行っていることを確認した。

また、外気取入口及び排気口の閉塞防止対策や冬季の夜間パトロール、防災上重要な箇所の除雪及び排雪を行う等、万全の対策を講じている。

これらのことから、豪雪による施設への影響は考えられない。

落雷による影響評価

1. はじめに

落雷による再処理施設への影響について評価する。評価に当たっては、再処理施設の落雷に対する設計基準及び安全性について確認するとともに、耐雷設計の検証内容、検証結果を受けて実施した改善策について確認する。

2. 耐雷設計

再処理施設の耐雷設計は、「原子力発電所の耐雷指針（JEAG 4608-1998）」に基づき当社基準として「再処理事業部 耐雷設計基準」を施行し、これを満足するよう行われている。

「再処理事業部 耐雷設計基準」に基づく主な対応は、以下のとおりである。

a. 雷直撃防止設計

建物及び構築物または油槽等の工作物並びにその他のもの、屋内外設置の開閉所設備や所内電源設備等の電力設備及び計測制御設備は、適切な避雷設備を設置し、接地極へ接続している。

b. 雷サージ抑制設計

排気筒及び建屋等の避雷針や開閉所構内鉄塔等への直撃雷に伴う電力設備及び計測制御設備の雷サージ（雷の影響により発生する過渡的な異常高電圧）による影響を軽減するため、電力設備及び計測制御設備に対する雷サージの進入・伝播経路を考慮し、対策を行っている。

電力設備に侵入する雷サージの抑制対策として、主要な接続箇所への避雷器の設置及び各施設で使用している動力用変圧器への混触防止板の採用を行っている。

計測制御設備に侵入する雷サージの抑制対策として、構内接地系統の接地電位分布の平坦化を図るため各建屋の接地網を接続させ、各建屋では、専用の計装接地幹線を設けている。

また、安全上重要な施設の安全機能を維持するために必要な計測制御設備は、落雷による雷サージの侵入に伴い、機能喪失に至らないように、雷インパルス絶縁耐力を有することを型式試験等により確認したものを使用し、さらに必要に応じフィルタやサージ吸収素子の適用や保安器を設置する等の適切な対策をしている。

上記耐雷設計以外に、再処理施設は、落雷に対して以下の安全性を有している。

- ・最大雷撃電流（波高値 150kA）が発生しても電力設備及び計測制御設備の機能が阻害されないように考慮して設計している。
- ・安全上重要な施設は、原則として建屋内に設置し、雷直撃を防止している。

なお、安全冷却水系冷却塔は屋外に設置しているが、安全冷却水系は2系統で構成され、それぞれの系統の冷却塔は離れた位置に設置しており、同時に雷撃を受ける可能性は極めて低い。

- ・落雷により系統停電が発生し、安全上重要な施設が停止した場合でも、ハードワイヤードシステムで構築された安全上重要な施設の安全機能を維持するために必要な計測制御設備により手動で再起動することが可能である。

3. 耐雷設計の検証

耐雷設計の妥当性を確認するために雷インパルス試験を過去に実施している。

a. 試験概要（図1参照）

安全上重要な施設にとって重要な施設（制御建屋）や雷撃率が高いと推定される施設（主排気筒）を対象として、雷撃を模擬した雷インパルス電流（主排気筒：560～690A、制御建屋：500～640A）を印加し、接地網の過渡電位上昇特性や計装・制御回路及び低圧回路に発生する誘導過電圧を測定した。

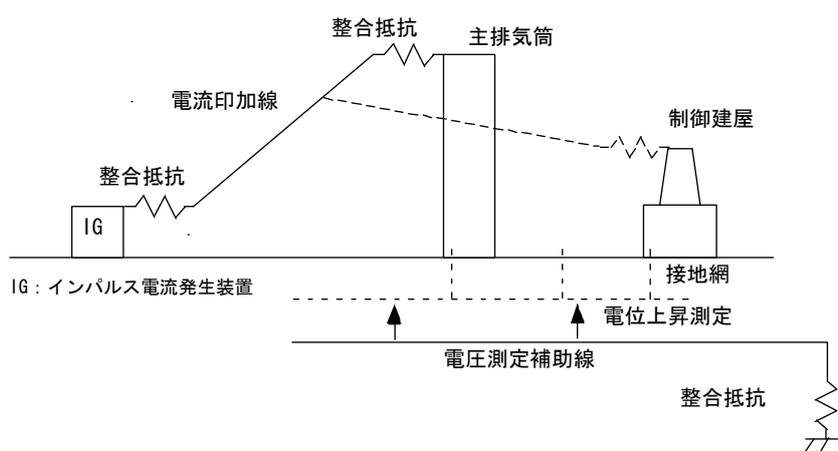


図1 試験イメージ

b. 試験結果

(a) 制御建屋へインパルス電流を印加した場合、主排気筒周辺の接地電

位上昇が確認された。この電位の局所上昇により、トレンチ内に敷設している制御・計装ケーブルに絶縁破壊強度を超える誘導過電圧が発生したことを確認した。

- (b) 構内接地系統に接続されていないモニタリングポスト及び海洋放油管電源系統に絶縁破壊強度を超えるおそれのある誘導過電圧が測定された。
- (c) 一部の施設間の制御・計装ケーブルに、絶縁破壊強度を超えるおそれのある誘導過電圧が測定された。

c. 試験結果を受けた改善策

雷インパルス試験結果に基づき、以下の耐雷対策を実施した。

- (a) 主排気筒周辺接地網の増強
- (b) 構内接地系統に接続されていないモニタリングポスト及び海洋放油管電源系統に対する絶縁変圧器の設置
- (c) 制御・計装ケーブルへのシールド層両端接地化及び保安器の設置

4. まとめ

建物及び構築物または油槽等の工作物並びにその他のもの、屋内外設置の開閉所設備や所内電源設備等の電力設備及び計測制御設備の耐雷設計が適切に施されていることを確認した。また、雷インパルス試験を行い、その結果を踏まえて主排気筒周辺接地網の増強等の対策を実施したことを確認した。これらのことから、落雷による施設への影響は考えられない。

地下水排出量と降水量の相関

1. はじめに

設計上の終局状態のせん断ひずみにおいて、鉄筋コンクリート構造物にひび割れが生じることを試験により確認している。(添付 7.2-4 参照) そのため、地震によりコンクリート構造物にひび割れが生じた場合、地下階においては地下水が浸入する可能性がある。

そのため、地下水排出量と降水量の相関を評価し、雨水が地下水発生に与える影響について調査し、地震と大雨の重畳が発生した場合の再処理施設への影響を確認する。

2. サブドレン排水設備

各建屋基礎直下にサブドレン排水設備を設置することで基礎盤レベル以上に地下水位が上昇することを抑制し、建屋への地下水浸入を防止することとしている。

また、サブドレン排水設備は、周囲を囲む集水管と碁盤目状に配置した排水管、これらで集めた地下水を収集するため集水ピットから構成される。集水ピットのうち、サブドレン排水ポンプを設置している集水ピットでは、2 台のサブドレン排水ポンプを設置し、水位上昇を自動的に検知して地下水を地上の側溝に排出することとしている。

なお、降水時の雨水については、排水設備により構外へ排水され、集水ピットに直接流入することはない。

3. 地下水排出量と降水量の相関評価

2006～2011 年の安全上重要な施設の各建屋代表 1 集水ピットの地下水排出量データと構内降水量データを比較し、相関係数^{*1}を確認した。(図 1～図 10 参照)

*1:2 つの確率変数の間の相関(類似性の度合い)を示す統計学的指標である。原則、単位はなく、-1 から 1 の間の実数値をとり、1 に近いときは 2 つの確率変数には正の相関があるといい、-1 に近ければ負の相関があるという。0 に近いときはもとの確率変数の相関は弱い。

4. 評価結果

図 1～図 10 の結果から、相関係数は 0.00～0.15 の範囲にあり、地下水排出量と降水量の相関は弱いものと考えられる。

5. まとめ

集水ピットからの地下水排出量データと降水量データの比較から、地下水発生量と降水量の相関性は弱いと考える。このため、地震と大雨の重畳が発生したとしても、再処理施設への影響が発生する可能性は低いと考える。

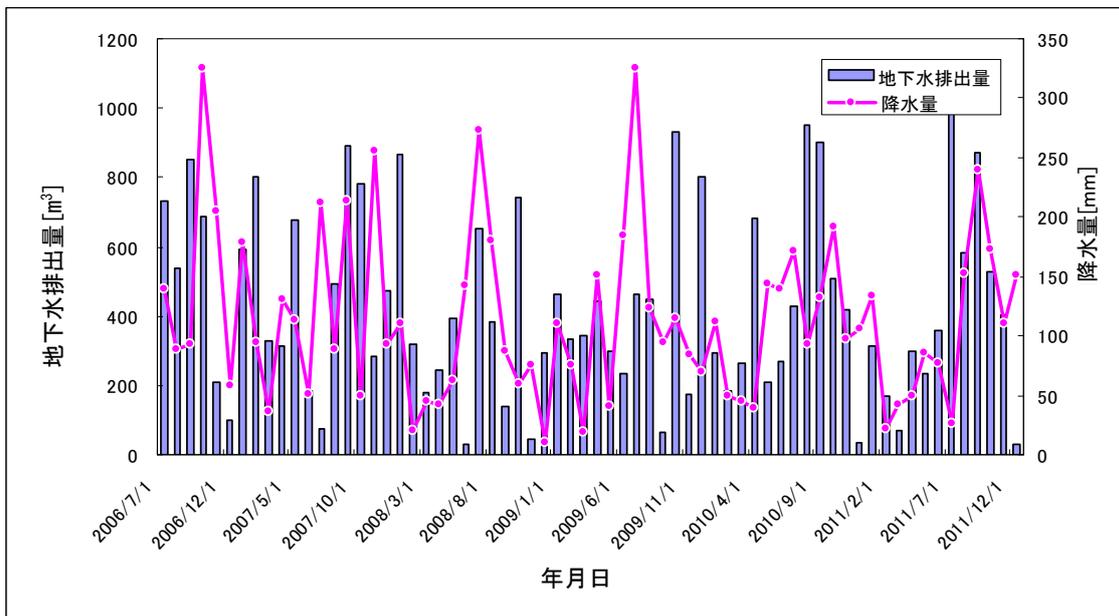


図1 前処理建屋の地下水排出量と降水量の比較

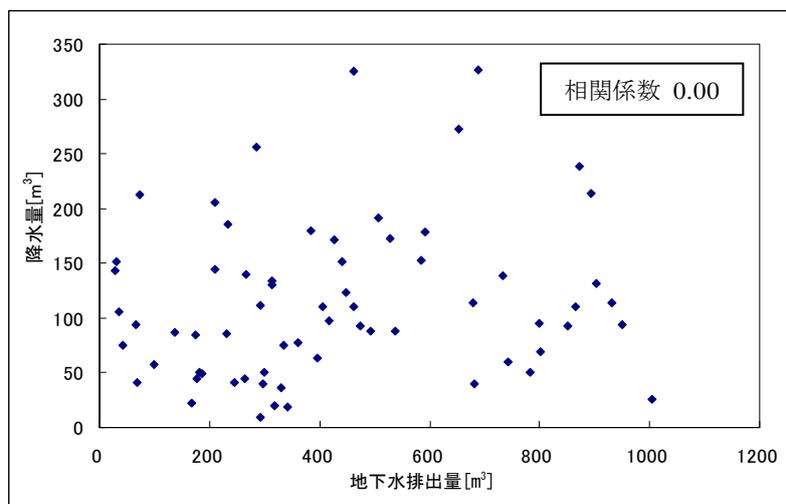


図2 前処理建屋の地下水排出量と降水量の相関

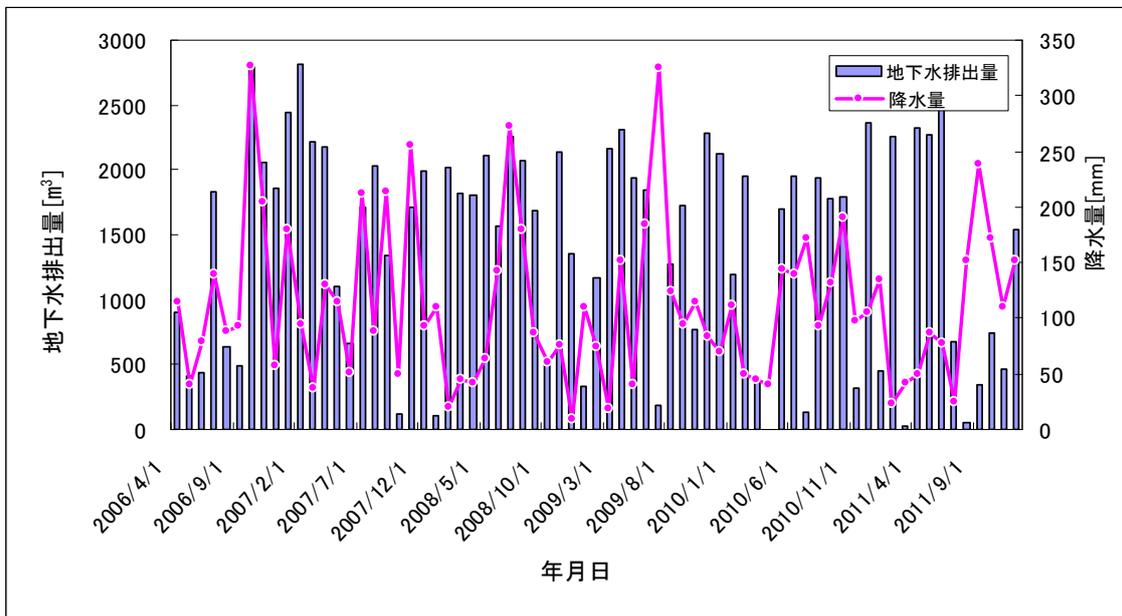


図3 精製建屋の地下水排出量と降水量の比較

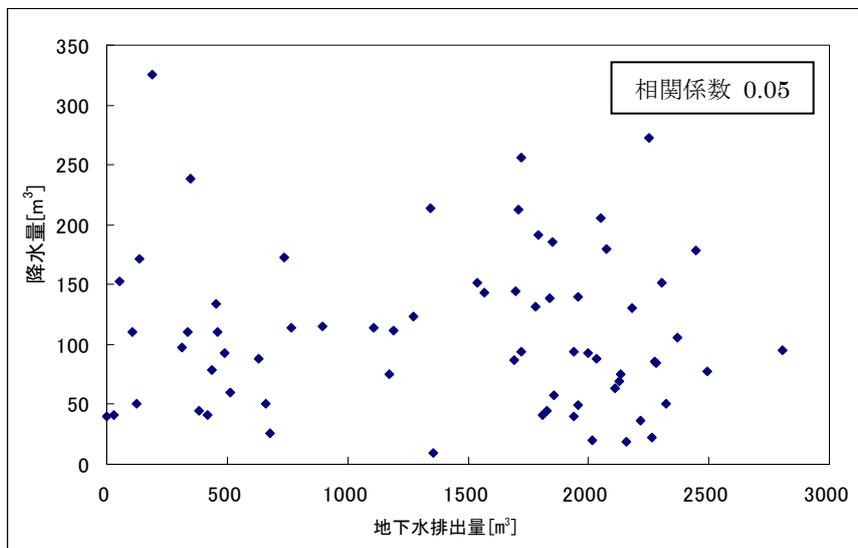


図4 精製建屋の地下水排出量と降水量の相関

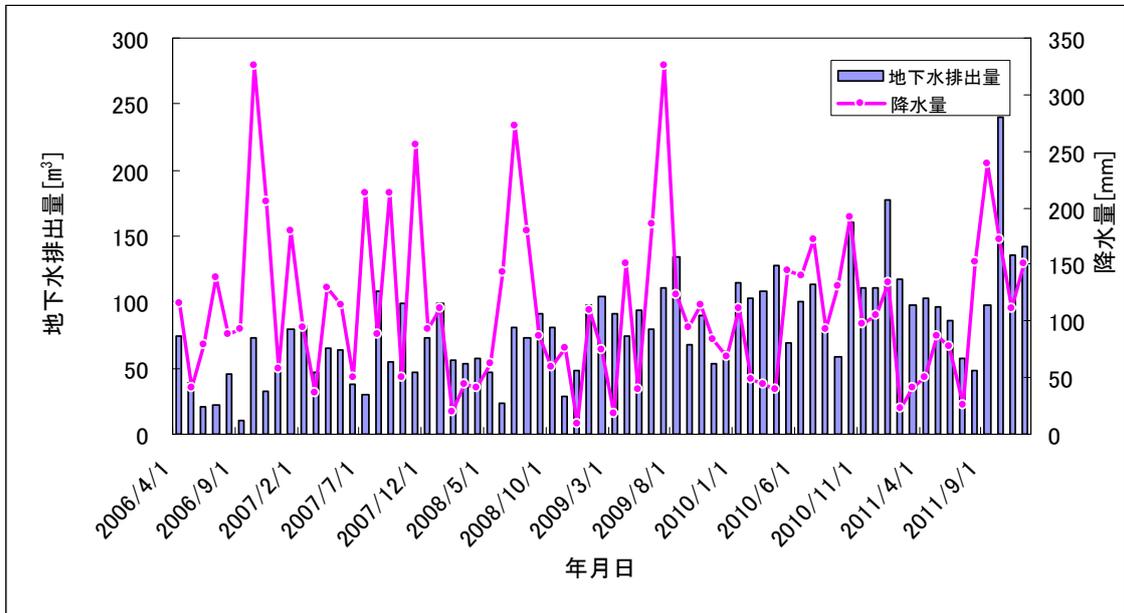


図 5 制御建屋の地下水排出量と降水量の比較

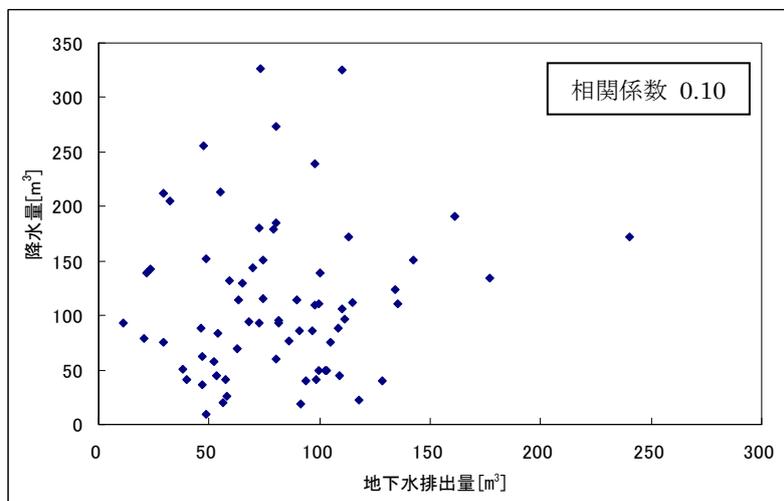


図 6 制御建屋の地下水排出量と降水量の相関

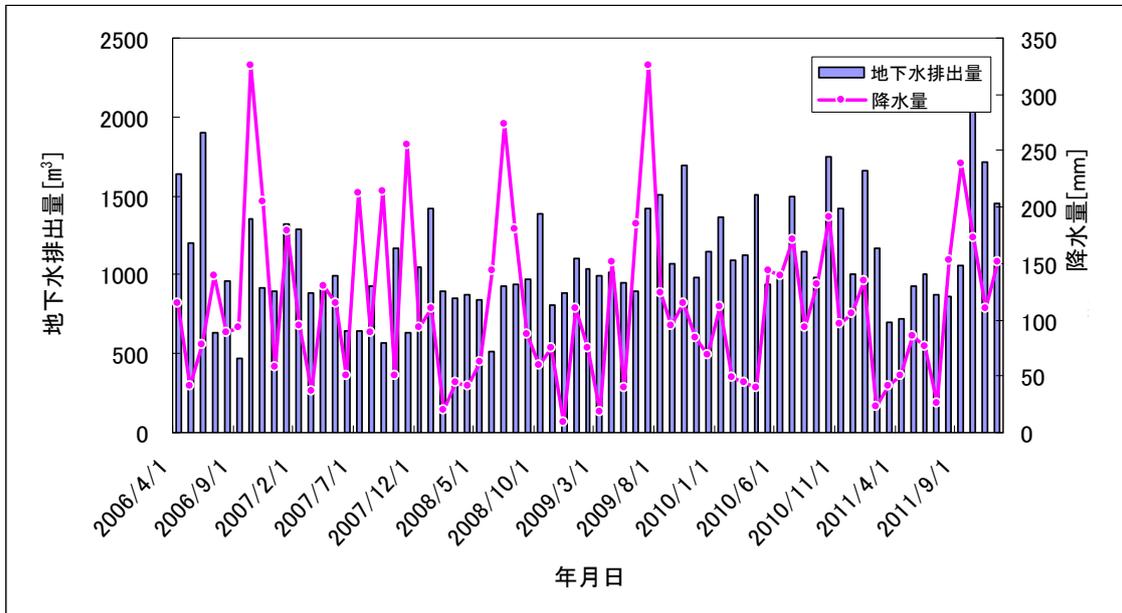


図 7 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地下水排出量と降水量の比較

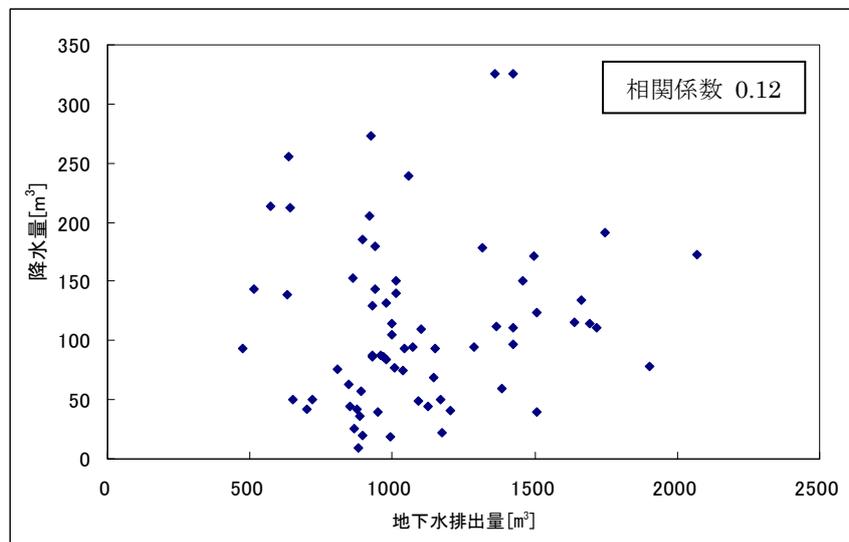


図 8 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地下水排出量と降水量の相関

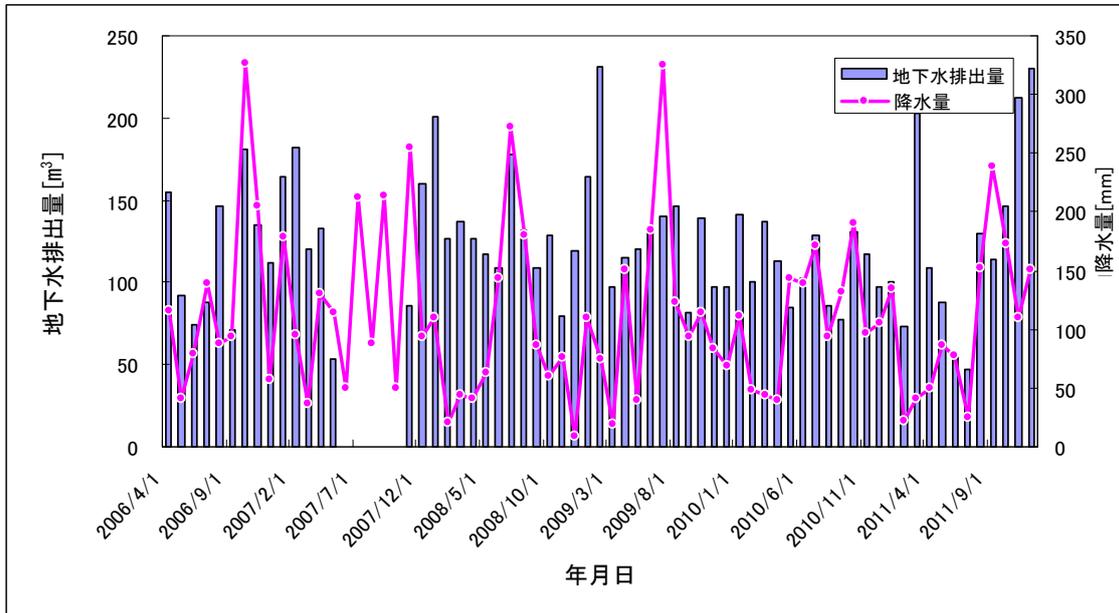


図9 第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排出量と降水量の比較
(※2007年6月～11月の地下水排出量が0となっているが、
これは第1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟の増設工事によるものである。)

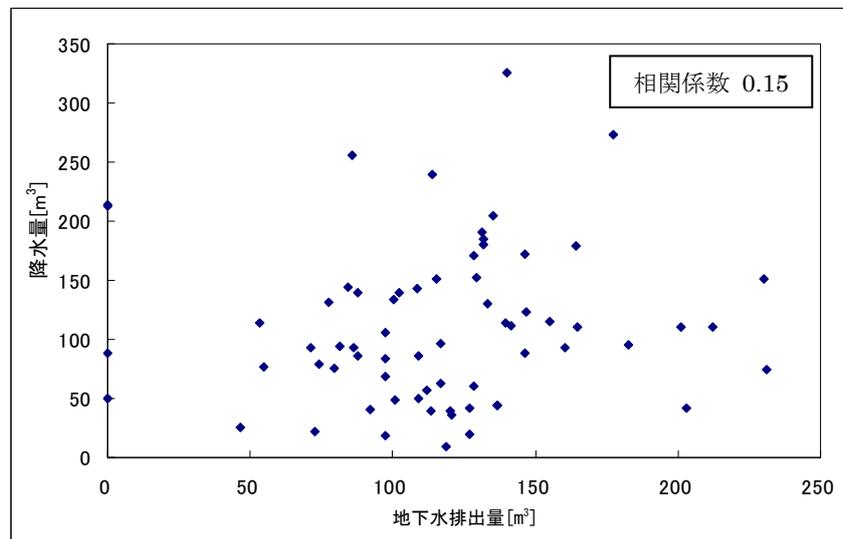


図10 第1 ガラス固化体貯蔵建屋の地下水排出量と降水量の相関