

【公開版】

資料 1-2	令和 2 年 2 月 18 日
日本原燃株式会社	

六ヶ所再処理施設における
新規制基準に対する適合性

放射線分解により発生する水素による爆発への対処
(溶液沸騰時を考慮した再整理)

1. はじめに

溶液沸騰時を考慮した放射線分解により発生する水素による爆発への対処の再整理に関して、2020年2月7日に開催された第335回審査会合においてご指摘いただいた以下の内容について整理した。

- ▶ 放射線分解により発生する水素による爆発（以下、「水素爆発」という。）の対処の基本方針のうち、重大事故対策の完了時間と水素濃度8vol%（ドライ換算）（以下、「未然防止濃度」という。）到達時間の関係性の再整理
- ▶ 圧縮空気貯槽からの圧縮空気の供給に伴う悪影響防止の設計要件
- ▶ 可搬型水素濃度計を用いた重大事故の水素爆発を想定する機器内の水素濃度測定タイミングについて

2. 重大事故対策の完了時間と未然防止濃度到達時間の関係性の再整理 水素爆発への対処の基本方針を以下のとおり再整理する。

- ① 水素掃気機能及び崩壊熱の除去機能が機能喪失することを想定し、水素爆発発生時に、貯槽、配管、その他の構造物に影響を与える可能性のある未然防止濃度に至らないよう、十分な量の圧縮空気を供給できる対策を整備する。その際、水素発生量の不確かさが大きくなる場合には、不確かさを踏まえて、未然防止濃度未満に維持できる十分な量の圧縮空気を供給できる対策を整備する。
- ② ①の対策により圧縮空気の供給を継続することで未然防止濃度未満を維持している期間中に、事態の収束のために可燃限界濃度（4 v o 1 %）未満に維持できる対策を整備する。その際、対策の作業遅れを想定し、①の対策の容量は十分な余裕を持たせる。

これらの基本方針を実現するため、発生防止対策及び拡大防止対策として以下の対応を行う。

2. 1. 発生防止対策

圧縮空気自動供給系※からの圧縮空気の自動供給による水素掃気を実施することにより、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給開始前までの間、機器内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する。

その際、溶液の沸騰又はかくはん状態により水素発生量が増加する可能性があることから、水素発生量の増加が想定される時間の前に圧縮空気自動供給系からの圧縮空気の供給を手動で停止し、機器圧縮空気自動供給ユニット※からの圧縮空気の供給により圧縮空気の供給量を増加させ、機器

内の水素濃度を未然防止未満に維持する。

その後、可搬型空気圧縮機から設計掃気量相当の圧縮空気を供給することにより、機器内の水素濃度を可燃限界濃度未満に維持し、事態の収束を図る。

2. 2. 拡大防止対策

発生防止対策が機能しなかった場合を想定し、発生防止対策とは異なる常設の配管を使用した圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給による水素掃気を実施することにより、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給開始前までの間、機器内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する。

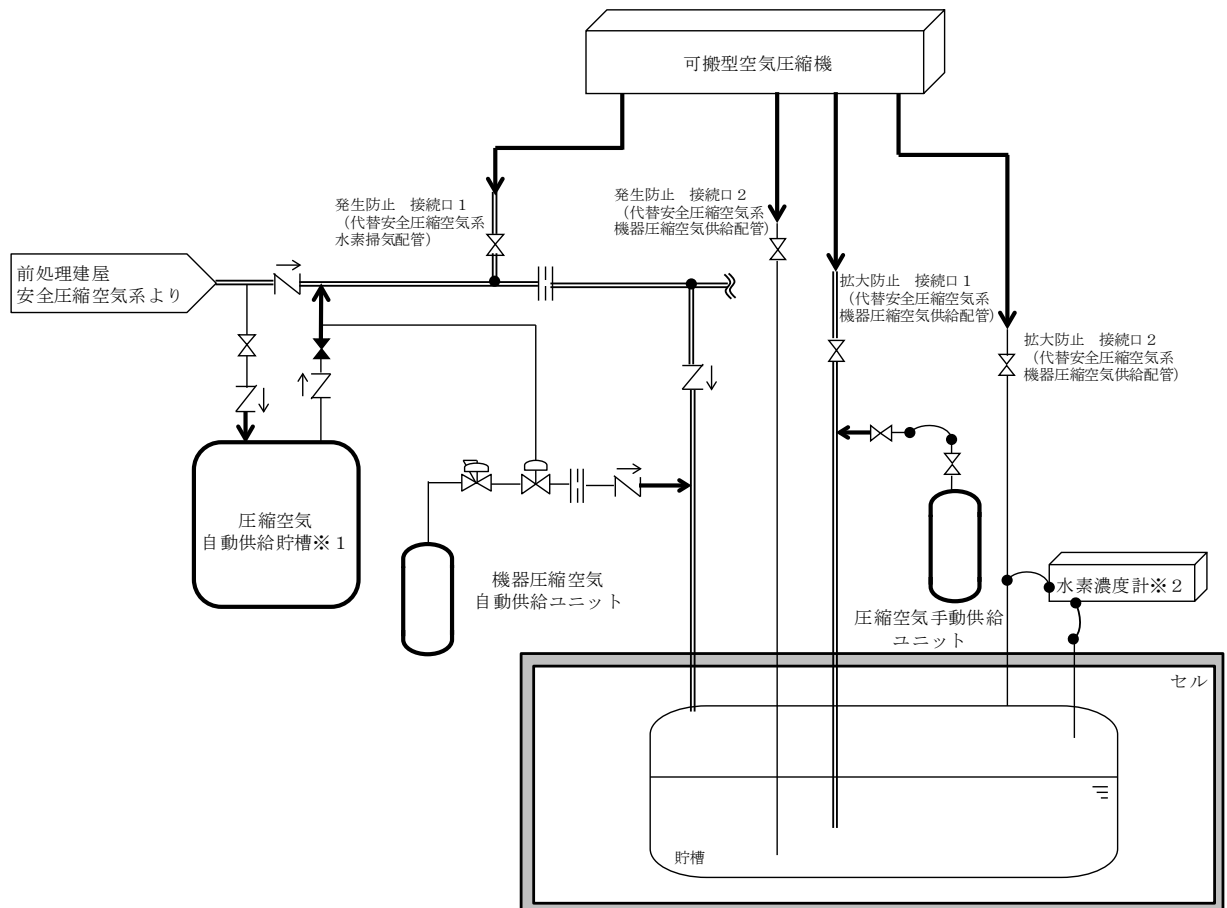
その際、溶液の沸騰又はかくはん状態により水素発生量が増加する可能性があることから、圧縮空気手動供給ユニット※からの圧縮空気の供給量は、水素発生量の不確かさを踏まえて十分な量を確保し、機器内の水素濃度を未然防止未満に維持する。

その後、可搬型空気圧縮機から圧縮空気を供給することにより、機器内の水素濃度を可燃限界濃度未満に維持し、事態の収束を図る。

※対策の再整理に伴い、圧縮空気貯槽、圧縮空気ユニット、予備圧縮空気ユニット及び手動圧縮空気ユニットの名称を変更する。具体的な変更内容について、第1表に示す。本資料においても、新名称で記載を統一する。また、対策の概要図を第1図に示す。

第1表 圧縮空気貯槽等の名称の再整理

	これまでの名称	対策の再整理に伴う新名称	
発生防止対策	圧縮空気貯槽	圧縮空気自動供給系	圧縮空気自動供給貯槽
	圧縮空気ユニット		圧縮空気自動供給ユニット
	予備圧縮空気ユニット	機器圧縮空気自動供給ユニット	
拡大防止対策	手動圧縮空気ユニット	圧縮空気手動供給ユニット	



※1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋は圧縮空気自動供給ユニット
 ※2 測定対象貯槽により、水素掃気配管へ設置する場合もある。

第1図 対策の概要図

3. 圧縮空気自動供給貯槽からの圧縮空気の供給に伴う悪影響防止の設計要件

圧縮空気自動供給貯槽からの圧縮空気の供給が継続すると、沸騰が想定される機器において水素発生量が増加した場合に圧縮空気の供給量が不足し、未然防止濃度未満を維持するための機能へ悪影響を及ぼす可能性がある（詳細は補足説明資料1参照）。

このため、精製建屋の圧縮空気自動供給貯槽については、貯槽内溶液の温度の上昇に伴い水素発生量の不確かさが大きくなる可能性のある（詳細は補足説明資料2参照）4時間に余裕を見込み、2時間20分が経過する前に、手動操作により圧縮空気自動供給貯槽を隔離することにより、機器圧縮空気自動供給ユニットから圧縮空気を供給する設計とする。

同様に、分離建屋については4時間15分が経過する前に、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋においては7時間が経過する前に、手動操作により圧縮空気自動供給貯槽を隔離することにより、機器圧縮空気自動供給ユニットから圧縮空気を供給する設計とする。

本操作に必要な実施組織要員については、配置を整理することにより操作に必要な人員を配置できるようにした。本対策に関するタイムチャートを第2図に示す。

【補足説明資料1】

【補足説明資料2】

4. 機器内の水素濃度の測定タイミングについて

重大事故対策は、再処理施設の状況を適時把握しながら実施することが基本である。

水素爆発への対処において、放射線分解による水素の発生は、機器内の溶液量、崩壊熱密度、硝酸濃度、気泡の発生の有無により変動する可能性がある。このため、上記の方針に沿って、機器内の水素濃度を確認しつつ対策を行う。

水素濃度の測定の考え方は以下のとおりである。

- ▶ 水素濃度の推移を把握するために、水素濃度を所定の頻度（90分）で確認すると共に、変動が想定される期間において、余裕をもって変動程度を確認する。
- ▶ また、対策の効果を確認するため、対策実施前後に水素濃度の測定を行う。

水素濃度の測定タイミング及び測定目的を整理した表を、精製建屋を例として第2表に示す。

本方針に基づき水素濃度測定的项目を追加したタイムチャートを、精製建屋を例として第2図に示す。

第2表 水素濃度測定タイミング及び測定目的（精製建屋）

建屋	発生防止対策 水素濃度測定のホールドポイント※1							
	圧縮空気自動供給系からの圧縮空気供給の(機器圧縮空気自動供給ユニットからの供給開始)停止操作前	圧縮空気自動供給系からの圧縮空気供給の(機器圧縮空気自動供給ユニットからの供給開始)停止操作後	溶液温度 70℃ 到達前	溶液温度 70℃ 到達後	可搬型空気圧縮機からの供給開始前	可搬型空気圧縮機からの供給開始後	溶液の沸騰前	溶液の沸騰後
精製建屋	1時間 20分後	2時間 50分後	4時間後	4時間 10分後	7時間 10分後	7時間 25分後	11時間後	11時間 10分後

建屋	拡大防止対策 水素濃度測定ホールドポイント※1							
	圧縮空気手動供給ユニットからの供給開始前	圧縮空気手動供給ユニットからの供給開始後	溶液温度 70℃ 到達前	溶液温度 70℃ 到達後	可搬型空気圧縮機からの供給開始前	可搬型空気圧縮機からの供給開始後	溶液の沸騰前	溶液の沸騰後
精製建屋	—※2	1時間 20分後 ※2	4時間後	4時間 10分後	9時間 45分後	9時間 55分後	11時間後	11時間 10分後

※1 表中の時間は、事象発生からの経過時間であり、水素濃度測定の完了時間を示している。水素濃度測定は、表中のホールドポイントに加え、所定の頻度（90分）で監視を行う方針を満たすよう、計測を実施する。

※2 水素濃度計設置完了後の圧縮空気手動供給ユニットからの供給開始後から水素濃度測定を実施する。

対策	作業番号	作業内容	作業班	要員数	時間																							
					0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
水素爆発発生防止	AC 2	・可搬型建屋外ホース及び可搬型建屋内ホース敷設、接続	建屋内27班	2																								
	AC 3	・可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計及び可搬型水素掃気系統圧縮空気圧力計設置	建屋内24班、建屋内25班	4																								
	AC 4	・可搬型建屋内ホース接続	建屋内24班、建屋内25班	4																								
	AC 5	・可搬型空気圧縮機起動	建屋内27班	2																								
	AC 6	・可搬型空気圧縮機からの供給開始、水素掃気用圧縮空気圧力確認	建屋内22班	2																								
	AC 7	・水素掃気系統圧縮空気圧力及び貯槽掃気圧縮空気流量確認、貯槽掃気流量調整、セル導出ユニット流量確認	建屋内21班、建屋内22班	4																								
	AC 33	・圧縮空気自動供給貯槽、機器圧縮空気自動供給ユニット圧力測定	建屋内13班、建屋内19班 建屋内20班、建屋内25班	8																								
AC 35	・圧縮空気自動供給貯槽圧力確認、弁操作	建屋内21班	2																									
水素爆発拡大防止	AC 1	・圧縮空気手動供給ユニットからかはん系統への圧縮空気供給	建屋内20班、建屋内21班	4																								
	AC 34	・圧縮空気手動供給ユニット圧力測定	建屋内18班、建屋内20班 建屋内21班、建屋内22班 建屋内25班	10																								
	AC 8	・可搬型建屋内ホース接続(建屋入口)	建屋内23班、建屋内24班	4																								
	AC 9	・可搬型建屋内ホース接続(建屋内)、可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計及び可搬型かはん系統圧縮空気圧力計設置	建屋内23班、建屋内24班	4																								
	AC 10	・可搬型空気圧縮機からの供給開始、かはん系統圧縮空気圧力確認	建屋内23班	2																								
AC 11	・かはん系統圧縮空気圧力及び貯槽掃気流量確認、貯槽掃気流量調整、セル導出ユニット流量確認	建屋内21班、建屋内22班	4																									
精製建屋	AC 29	・可搬型建屋内ホース敷設、接続、排気温度計設置	建屋内11班、建屋内12班	4																								
	AC 30	・漏れ確認等、凝縮器通水	建屋内11班、建屋内12班	4																								
	AC 12	・隔離弁の操作、可搬型セル導出ユニット流量計設置	建屋内14班	2																								
	AC 13	・可搬型導出先セル圧力計設置	建屋内14班	2																								
	AC 14	・ダンパ閉止	建屋内15班	2																								
	AC 16	・可搬型ダクト、可搬型排風機、可搬型フィルタの設置	建屋内19班、建屋内20班 建屋内21班、建屋内24班 建屋内25班、建屋内26班	12																								
	AC 17	・可搬型排風機起動準備	建屋内13班	2																								
	AC 18	・放射型配管分岐第1セル圧力確認、可搬型排風機起動	建屋内13班	2																								
AC 19	・可搬型電源ケーブル敷設	建屋内11班、建屋内12班	4																									
水素爆発発生防止/拡大防止	AC 15	・可搬型水素濃度計設置	建屋内13班、建屋内27班	4																								
	AC 32	・水素濃度測定	建屋内13班、建屋内15班 建屋内19班、建屋内20班 建屋内24班、建屋内25班 建屋内26班	14																								
	AC 21	・可搬型貯槽温度計設置及び貯槽溶液温度計測定	建屋内14班、建屋内15班	4																								
	AC 24	・貯槽溶液温度計測定	建屋内15班	2																								
計器監視燃料の補給	AC 31	・計器監視(貯槽溶液温度、水素掃気系統圧縮空気圧力、貯槽掃気圧縮空気流量、放射型配管分岐第1セル圧力、水素濃度、貯槽液位、かはん系統圧縮空気圧力) ・可搬型発電機および可搬型空気圧縮機への燃料の補給	建屋内26班、建屋内27班	4																								

第2図 タイムチャートの例(精製建屋)

5. 対策の再整理結果

5. 1. 基本方針

水素爆発への対処の基本方針は以下のとおり。

- ① 水素掃気機能及び崩壊熱の除去機能が機能喪失することを想定し、水素爆発発生時に、貯槽、配管、その他の構造物に影響を与える可能性のある未然防止濃度に至らないよう、十分な量の圧縮空気を供給できる対策を整備する。その際、水素発生量の不確かさが大きくなる場合には、不確かさを踏まえて、未然防止濃度未満に維持できる十分な量の圧縮空気を供給できる対策を整備する。
- ② ①の対策により圧縮空気の供給を継続することで未然防止濃度未満を維持している期間中に、事態の収束のために可燃限界濃度（4 v o 1 %）未満に維持できる対策を整備する。その際、対策の作業遅れを想定し、①の対策の容量は十分な余裕を持たせる。

5. 2 発生防止対策の方針

安全圧縮空気系の水素掃気機能の喪失により、機器内の水素濃度が上昇することがないように、圧縮空気自動供給系からの圧縮空気の自動供給による水素掃気を実施することにより、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給開始前までの間、機器内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する。

崩壊熱の除去機能が喪失している場合には、溶液の沸騰又はかくはん状態により水素発生量が増加する可能性があることを想定し、水素発生量の増加が想定される時間の前に圧縮空気自動供給系からの圧縮空気の供給を手動で停止し、機器圧縮空気自動供給ユニットからの圧縮空気の供給により圧縮空気の供給量を増加させ、機器内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する。

その後、可搬型空気圧縮機から設計掃気量相当の圧縮空気を供給することにより、機器内の水素濃度を可燃限界濃度未満に維持し、事態の収束を図る。

上記の対策にあたっては、機器内の水素濃度、圧縮空気自動供給系の圧力、圧縮空気流量、溶液温度の確認を行いつつ対策を行う。

対策の方針に基づいた手順と重大事故等対処設備の関係を第3表に示す。

5. 3 拡大防止対策の方針

安全圧縮空気系の水素掃気機能の喪失により、機器内の水素濃度が上昇することがないように、圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給による水素掃気を実施することにより、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給開始前までの間、機器内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する。

崩壊熱の除去機能が喪失している場合には、溶液の沸騰又はかくはん状態により水素発生量が増加する可能性があることを想定し、圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給量は、水素発生量の不確かさを踏まえて十分な量を確保し、機器内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する。

その後、可搬型空気圧縮機から圧縮空気を供給することにより、機器内の水素濃度を可燃限界濃度未満に維持し、事態の収束を図る。

上記の対策にあたっては、機器内の水素濃度、圧縮空気手動供給ユニットの圧力、圧縮空気流量、溶液温度の確認を行いつつ対策を行う。

対策の方針に基づいた手順と重大事故等対処設備の関係を第4表に示す。

5. 4 有効性評価に関する変更点

有効性評価に関する変更点を以下に示す。代表事例、代表事例の選定理由、有効性評価の考え方、機能喪失の条件、水素爆発を見込んだ放出量評価の条件、判断基準及び水素爆発を見込んだ放出量評価結果についてはこれまでと変更はない。

上述の対策の方針に基づき再整理した結果、水素発生量の算出に用いる水素発生G値、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の圧縮空気手動供給ユニットの機器条件、圧縮空気自動供給系からの圧縮空気の手動停止に係る操作条件及び水素濃度測定に係る操作条件が変更となる。

また、有効性評価結果の水素濃度の推移も変更となる。

水素発生G値を第6表に、有効性評価結果を第7表に、水素濃度の推移を第3図及び第4図に示す。

変更内容を反映した有効性評価の要旨を添付資料に示す。

要旨の内容への変更の有無は以下のとおり。

第34条 臨界事故：変更あり（添付資料1参照）

第35条 蒸発乾固：変更あり（添付資料2参照）

第36条 水素爆発：変更あり（添付資料3参照）

第37条 TBP等の錯体の急激な分解反応：（添付資料4参照）

第38条 使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷防止：（添付資料5参照）

第28条 同時発生及び連鎖：変更あり（添付資料6参照）

第3表 水素爆発の発生を防止するための空気の供給の手順及び設備の関係

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
a.	水素爆発を未然に防止するための空気の供給の実施判断	<ul style="list-style-type: none"> 安全圧縮空気系の空気圧縮機が多重故障し、安全圧縮空気系の水素掃気機能が喪失した場合、空気圧縮機を冷却する安全冷却水系の冷却塔又は外部ループの冷却水循環ポンプが多重故障し、安全圧縮空気系の水素掃気機能が喪失した場合、又は、外部電源が喪失し、第2非常用ディーゼル発電機を運転できない場合、又は、第2非常用ディーゼル発電機を運転できたにもかかわらず安全圧縮空気系の空気圧縮機の運転を継続できない場合は、重大事故等対策として以下のd.に移行する。 	—	—	—
b.	圧縮空気自動供給系からの圧縮空気の供給	<ul style="list-style-type: none"> 分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において安全圧縮空気系の水素掃気機能が喪失し、系統内の圧力が低下した場合は、圧縮空気自動供給系から第5表に示す機器のうち分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の水素爆発を想定する機器へ自動で圧縮空気が供給される。 本対策において確認が必要な監視項目は圧縮空気自動供給系の圧力である。 	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮空気自動供給貯槽 圧縮空気自動供給ユニット 各建屋の水素爆発対象機器 各建屋の水素掃気配管 	—	<ul style="list-style-type: none"> 可搬型圧縮空気自動供給貯槽圧力計 可搬型圧縮空気自動供給ユニット圧力計

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
c.	機器圧縮空気自動供給ユニットへの切り替え	<ul style="list-style-type: none"> 水素発生量が増加する前に、圧縮空気自動供給系から機器圧縮空気自動供給ユニットへの切り替えを行い、未然防止濃度に維持するために十分な量の圧縮空気を供給するため、分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において圧縮空気自動供給ユニットから第5表に示す機器のうち分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に設置される可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等へ圧縮空気を供給する。 本対策において確認が必要な監視項目は機器圧縮空気自動供給ユニットの圧力である。 	<ul style="list-style-type: none"> 機器圧縮空気自動供給ユニット 各建屋の水素爆発対象機器 各建屋の水素掃気配管 	—	<ul style="list-style-type: none"> 可搬型機器圧縮空気自動供給ユニット圧力計

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
d.	可搬型水素濃度計の設置及び測定	<ul style="list-style-type: none"> 水素濃度の測定対象の貯槽等の水素濃度の推移が想定どおりか確認するため、可搬型水素濃度計を測定対象の貯槽等に接続している水素掃気配管及び計測制御系統施設の計測制御設備に設置する。 水素濃度の測定対象の貯槽等は、水素爆発が発生した場合の主排気筒から大気中への放射性物質の放出量が多い貯槽等を候補とし、水素掃気機能の喪失直前の液位情報を基に選定する。 測定対象の貯槽等の水素濃度を2度測定し、水素濃度が未然防止濃度未満であり、想定推移を逸脱していないことを確認する。 c. の操作前後で水素濃度を測定する。 溶液温度が70℃に到達すると想定される時間の前後で水素濃度を測定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 各建屋の水素掃気配管 各建屋の機器圧縮空気供給配管 圧縮空気供給系 	—	<ul style="list-style-type: none"> 計測制御設備 可搬型水素濃度計
e.	代替安全圧縮空気系の水素掃気配管又は機器圧縮空気供給配管からの圧縮空気の供給による水素掃気機能維持の判断	<ul style="list-style-type: none"> 代替安全圧縮空気系の水素掃気配管又は機器圧縮空気供給配管に、建屋外の可搬型空気圧縮機を、可搬型個別供給用建屋外ホース、可搬型個別供給用建屋内ホース、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース及び圧縮空気供給系により接続し、第5表に示す機器へ圧縮空気を供給する。圧縮空気を供給するための接続口をそれぞれ互いに異なる複数の場所に設置することにより、信頼性の向上を図る。 本対策の圧縮空気の供給は、可搬型排風機を起動した後に実施する。 設計基準を超える条件より厳しい条件としての外的事象の「火山」を要因として水素掃気機能が喪失することが考えられる場合には、降灰に設計基準を超える条件より厳しい条件としての 	<ul style="list-style-type: none"> 各建屋の水素掃気配管 各建屋の機器圧縮空気供給配管 圧縮空気供給系 	<ul style="list-style-type: none"> 可搬型空気圧縮機 可搬型個別供給用建屋外ホース 可搬型個別供給用建屋内ホース 可搬型建屋外ホース 可搬型建屋内ホース 	—

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
		外的事象の「火山」を要因として水素掃気機能が喪失することが考えられる場合には、降灰により可搬型空気圧縮機が機能喪失することを防止するため、あらかじめ可搬型空気圧縮機は各建屋内に配置する。			
e.	代替安全圧縮空気系の水素掃気配管又は機器圧縮空気供給配管からの圧縮空気の供給による水素掃気機能維持の判断	<ul style="list-style-type: none"> 本対策において確認が必要な監視項目は、第5表に示す機器に供給される圧縮空気の流量、圧縮空気供給圧力及び塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットにおける廃ガスの流量である 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計 可搬型水素掃気系統圧縮空気圧力計 可搬型かくはん系統圧縮空気圧力計 可搬型セル導出ユニット流量計

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
f.	代替安全圧縮空気系の水素掃気配管又は機器圧縮空気供給配管からの圧縮空気の供給による水素掃気機能維持の判断	<ul style="list-style-type: none"> 第5表に示す機器に供給する圧縮空気の流量を、代替安全圧縮空気系の水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管、可搬型個別供給用建屋内ホース又は可搬型建屋内ホースに接続する可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計により確認し、水素掃気機能が維持されていることを判断する。 水素掃気機能が維持されていることを判断するために確認が必要な監視項目は、第5表に示す機器に供給される圧縮空気の流量である。 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計
g.	対策後の水素濃度の測定	<ul style="list-style-type: none"> 代替安全圧縮空気系からの圧縮空気の供給により、水素濃度が低下していることを確認するため、測定対象の貯槽等の水素濃度を可搬型水素濃度計により確認する。 			<ul style="list-style-type: none"> 可搬型水素濃度計
h.	水素濃度の定常監視	<ul style="list-style-type: none"> 代替安全圧縮空気系からの圧縮空気の供給により、水素濃度が可燃限界濃度未満となっていることを確認するため、測定対象の貯槽等の水素濃度を可搬型水素濃度計により監視する。 			<ul style="list-style-type: none"> 可搬型水素濃度計

第4表 水素爆発の再発を防止するための空気の供給の手順及び設備の関係

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
a.	水素爆発の再発を防止するための空気の供給の実施判断	<ul style="list-style-type: none"> 水素爆発の発生を防止するための空気の供給の実施にもかかわらず水素掃気機能が回復しなかった場合には、水素爆発の再発を防止するための空気の供給として以下のc.へ移行する。 	—	—	—
b.	圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給	<ul style="list-style-type: none"> 分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において安全圧縮空気系の水素掃気機能が喪失し、系統内の圧力が低下した場合は、第3表の「a. 水素爆発を未然に防止するための空気の供給の実施判断」を受け、第5表に示す機器のうち分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に設置される、圧縮空気の供給がない場合の時間余裕が短く、可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽へ速やかに圧縮空気手動供給ユニットを可搬型建屋内ホースにより接続し、圧縮空気を供給する。 圧縮空気の供給に用いる系統は貯槽等に内包する高レベル廃液等に浸っている系統を選択する。圧縮空気の供給を開始する前に当該系統への圧縮空気供給圧力の変動を確認し、系統が健全であること及び圧縮空気の供給が行われていることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮空気手動供給ユニット 各建屋の水素爆発対象機器 機器圧縮空気供給配管 	<ul style="list-style-type: none"> 可搬型建屋内ホース 	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮空気手動供給ユニット接続系統圧力計
		<ul style="list-style-type: none"> 本体策において確認が必要な監視項目は圧縮空気手動供給ユニットを接続する系統の圧力変化である。 			

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
c.	水素濃度の測定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧縮空気手動供給ユニットにより貯槽等内の溶液がかくはん状態となることから、可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等の水素濃度を測定し、貯槽等内の水素濃度が未然防止濃度未満に維持されていることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各建屋の水素掃気配管 ・ 各建屋の機器圧縮空気供給配管 ・ 圧縮空気供給系 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計測制御設備 ・ 可搬型水素濃度計
d.	代替安全圧縮空気系の機器圧縮空気供給配管からの圧縮空気の供給	<ul style="list-style-type: none"> ・ 代替安全圧縮空気系の機器圧縮空気供給配管に、建屋外の可搬型空気圧縮機を、可搬型個別供給用建屋外ホース、可搬型個別供給用建屋内ホース、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース及び圧縮空気供給系により接続し、第5表に示す機器の重大事故の水素爆発を想定する機器へ圧縮空気を供給する。また、作業部屋内の圧縮空気を供給するための接続口をそれぞれ互いに異なる複数の場所に設置することにより、信頼性の向上を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各建屋の機器圧縮空気供給配管 ・ 圧縮空気供給系 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可搬型空気圧縮機 ・ 可搬型個別供給用建屋外ホース ・ 可搬型個別供給用建屋内ホース ・ 可搬型建屋外ホース ・ 可搬型建屋内ホース 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計 ・ 可搬型かくはん系統圧縮空気圧力計 ・ 可搬型セル導出ユニット流量計
e.	代替安全圧縮空気系の機器圧縮空気供給配管からの圧縮空気の供給による水素掃気機能維持の判断	<p>第5表に示す機器の重大事故の水素爆発を想定する機器に供給される圧縮空気の流量により貯槽等の水素を可燃限界濃度未満に希釈できる流量に維持されていることを確認し、水素掃気機能が維持されていることを判断する。</p> <p>水素掃気機能が維持されていることを判断するために確認が必要な監視項目は、第5表に示す機器の重大事故の水素爆発を想定する機器に供給される圧縮空気の流量である。</p>	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可搬型貯槽掃気圧縮空気流量計

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備※	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
f.	対策後の水素濃度の測定	・代替安全圧縮空気系からの圧縮空気の供給により、水素濃度が低下していることを確認するため、測定対象の貯槽等の水素濃度を可搬型水素濃度計により確認する。			・可搬型水素濃度計
g.	水素濃度の定常監視	・代替安全圧縮空気系からの圧縮空気の供給により、水素濃度が可燃限界濃度未満となっていることを確認するため、測定対象の貯槽等の水素濃度を可搬型水素濃度計により監視する。			・可搬型水素濃度計

第5表 水素爆発を想定する機器

建屋	施設名	設備名	機器名
前処理建屋	溶解施設	溶解設備	ハル洗浄槽 中間ポット 水バッファ槽
		清澄・計量設備	中継槽* 不溶解残渣回収槽 リサイクル槽 計量前中間貯槽* 計量・調整槽* 計量補助槽* 計量後中間貯槽*
分離建屋	分離施設	分離設備	溶解液中間貯槽* 溶解液供給槽* 抽出塔 第1洗浄塔 第2洗浄塔 TBP洗浄塔 抽出廃液受槽* 抽出廃液中間貯槽* 抽出廃液供給槽*
		分配設備	プルトニウム分配塔 ウラン洗浄塔 プルトニウム洗浄器 プルトニウム溶液受槽* プルトニウム溶液中間貯槽*

(つづき)

建屋	施設名	設備名	機器名
分離建屋	分離施設	分離建屋一時貯留処理設備	第1一時貯留処理槽 第2一時貯留処理槽* 第3一時貯留処理槽* 第4一時貯留処理槽* 第5一時貯留処理槽 第6一時貯留処理槽 第7一時貯留処理槽 第8一時貯留処理槽 第9一時貯留処理槽 第10一時貯留処理槽
精製建屋	精製施設	プルトニウム精製設備	プルトニウム溶液供給槽* 抽出塔 核分裂生成物洗浄塔 逆抽出塔 ウラン洗浄塔 補助油水分離槽 TBP洗浄器 プルトニウム溶液受槽* 油水分離槽* プルトニウム濃縮缶供給槽* プルトニウム濃縮缶* プルトニウム溶液一時貯槽* プルトニウム濃縮液受槽* プルトニウム濃縮液計量槽* プルトニウム濃縮液中間貯槽* プルトニウム濃縮液一時貯槽* リサイクル槽* 希釈槽*
		精製建屋一時貯留処理設備	第1一時貯留処理槽 第2一時貯留処理槽* 第3一時貯留処理槽* 第4一時貯留処理槽 第7一時貯留処理槽*

(つづき)

建屋	施設名	設備名	機器名
分離建屋	酸及び溶媒の回収施設	溶媒回収設備 溶媒再生系 分離・分配系	第1洗浄器
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	脱硝施設	ウラン・プルトニウム混合脱硝設備	硝酸プルトニウム貯槽* 混合槽* 一時貯槽*
分離建屋 高レベル廃液ガラス固化建屋	液体廃棄物の廃棄施設	高レベル廃液処理設備	高レベル廃液濃縮設備 高レベル廃液供給槽 高レベル廃液濃縮缶* 高レベル廃液貯蔵設備 高レベル濃縮廃液貯槽* 不溶解残渣廃液貯槽 不溶解残渣廃液一時貯槽 高レベル濃縮廃液一時貯槽 * 高レベル廃液共用貯槽*
高レベル廃液ガラス固化建屋	固体廃棄物の廃棄施設	高レベル廃液ガラス固化設備	高レベル廃液混合槽* 供給液槽* 供給槽*

注) *印の機器は、重大事故の水素爆発を想定する機器である。

第6表 評価に用いる水素発生G値

	硝酸濃度 (mol/L)	G値			
		70°C以下		70°C超過※1	
		α	$\beta \gamma$	α	$\beta \gamma$
		(Molecules/100eV)		(Molecules/100eV)	
硝酸溶液 (硝酸プルトニウム溶液)	1.5	0.23 ¹⁾	—※2	1.2	—※2
	1.58	0.20 ¹⁾	—※2	1.0	—※2
	1.75	0.19 ¹⁾	—※2	0.95	—※2
	4.3	0.059 ¹⁾	—※2	0.30	—※2
	7.0	0.048 ¹⁾	—※2	0.24	—※2
硝酸溶液 (高レベル廃液ガラス 固化建屋の高レベル廃液)	1.0	0.014 ¹⁾	0.0050 ^{2) 3)}	0.070	0.025
	2.0	0.0085 ¹⁾	0.0030 ^{2) 3)}	0.043	0.015
硝酸溶液(その他)	1.5	0.23 ¹⁾	0.065 ²⁾	1.2	0.33
	2.0	0.17 ¹⁾	0.053 ²⁾	0.85	0.27
	2.6	0.12 ¹⁾	0.045 ²⁾	0.60	0.23
	2.8	0.11 ¹⁾	0.044 ²⁾	0.55	0.22
	3.0	0.11 ¹⁾	0.042 ²⁾	0.55	0.21
有機溶媒(30%TBP+n- ドデカン)	—	3.0 ^{4) 5)}	—※	15	—※

※1 70°C超過のG値は70°C以下の5倍としている。設定根拠については、補足説明資料3参照

※2 プルトニウムが主であるため、 $\beta \gamma$ によるG値を用いていない。

- 1) J. C. Sheppard, ALPHA RADIOLYSIS OF PLUTONIUM (IV)- NITRIC ACID SOLUTIONS, BNWL-751A, (1968).
- 2) H. A. Mahlman, THE OH YIELD IN THE $^{60}\text{Co} \gamma$ RADIOLYSIS OF HNO_3 , Journal of Chemical Physics, vol. 35, No. 3 (Sept, 1961).
- 3) H. KINUHATA et al. THE BEHAVIOR OF RADIOLYTICALLY PRODUCED HYDROGEN IN A HIGH-LEVEL LIQUID WASTE TANK OF A REPROCESSING PLANT : HYDROGEN CONCENTRATION IN THE VENTILATED TANK AIR. Nuclear Technology. 2015-02, vol. 189, no. 2.
- 4) T. Rigg et al., RADIATION EFFECT IN SOLVENT EXTRACTIONS PROCESS, Prog. Nucl. Energ. Series III, Process Chem. Vol. 2, p320 (1958)
- 5) J. P. Holland et al., THE RADIOLYSIS OF DODECANE-TRIBUTYLPHOSPHATE

SOLUTIONS, Nuclear Instruments and Method 153, p589 (1978)

【補足説明資料 3】

第7-1表 精製建屋における水素爆発への各対策に係る時間

機器グループ	機器名	水素爆発の発生防止対策				水素爆発の拡大防止対策						
		許容空白時間 ※1	圧縮空気自動供給ユニットへの切り替え完了時間※1	可搬型空気圧縮機からの供給準備完了時間 ※1	可搬型空気圧縮機からの空気供給開始時間 ※1	許容空白時間 ※1 ※2	圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気供給開始時間 ※1	可搬型空気圧縮機からの供給準備完了時間 ※1	可搬型空気圧縮機からの空気供給開始時間 ※1	セル導出準備完了時間※1	可搬型排風機起動準備完了時間 ※1	可搬型排風機起動開始時間※1
精製建屋 水素爆発	プルトニウム溶液供給槽	4時間※3	2時間20分	7時間	7時間15分	13時間	1時間50分	9時間30分	9時間45分	2時間25分	5時間40分	6時間40分
	プルトニウム溶液受槽	4時間※3				5.0時間	1時間30分					
	油水分離槽	4時間※3				6.2時間	1時間40分					
	プルトニウム濃縮缶供給槽	4時間※3				2.7時間	1時間					
	プルトニウム溶液一時貯槽	4時間※3				2.8時間	1時間5分					
	プルトニウム濃縮缶	27時間※2	—			27時間	—					
	プルトニウム濃縮液受槽	4時間※3	2時間20分			2.9時間	1時間10分					
	プルトニウム濃縮液一時貯槽	4時間※3				1.4時間	50分					
	プルトニウム濃縮液計量槽	4時間※3				2.9時間	1時間15分					
	リサイクル槽	4時間※3				2.9時間	1時間20分					
	希釈槽	4時間※3				2.2時間	55分					
	プルトニウム濃縮液中間貯槽	4時間※3				2.9時間	1時間25分					
	第2一時貯留処理槽	4時間※3				7.7時間	1時間45分					
	第3一時貯留処理槽	4時間※3				5.8時間	1時間35分					
	第7一時貯留処理槽	28時間※2				—	28時間					

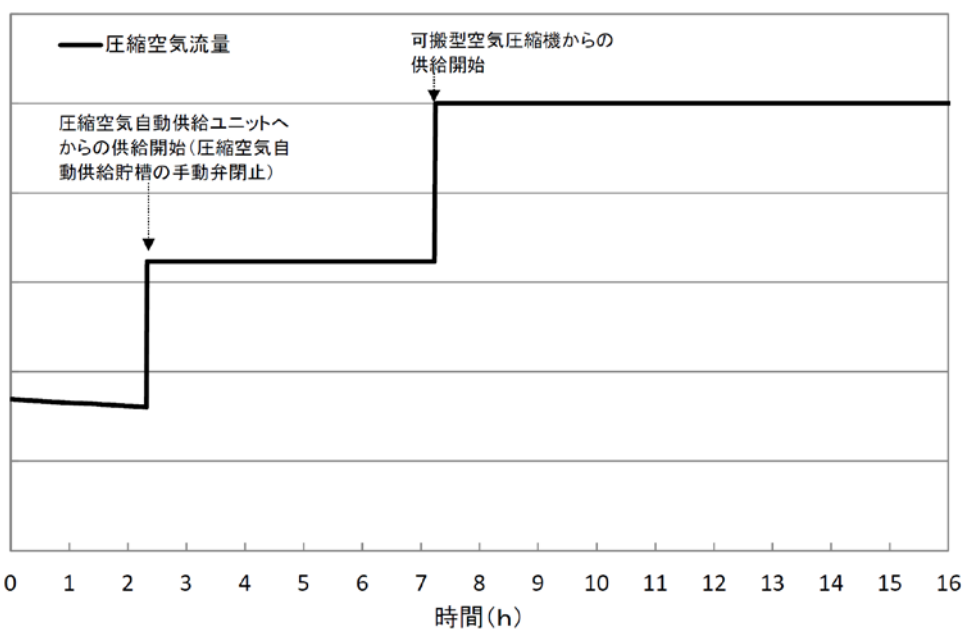
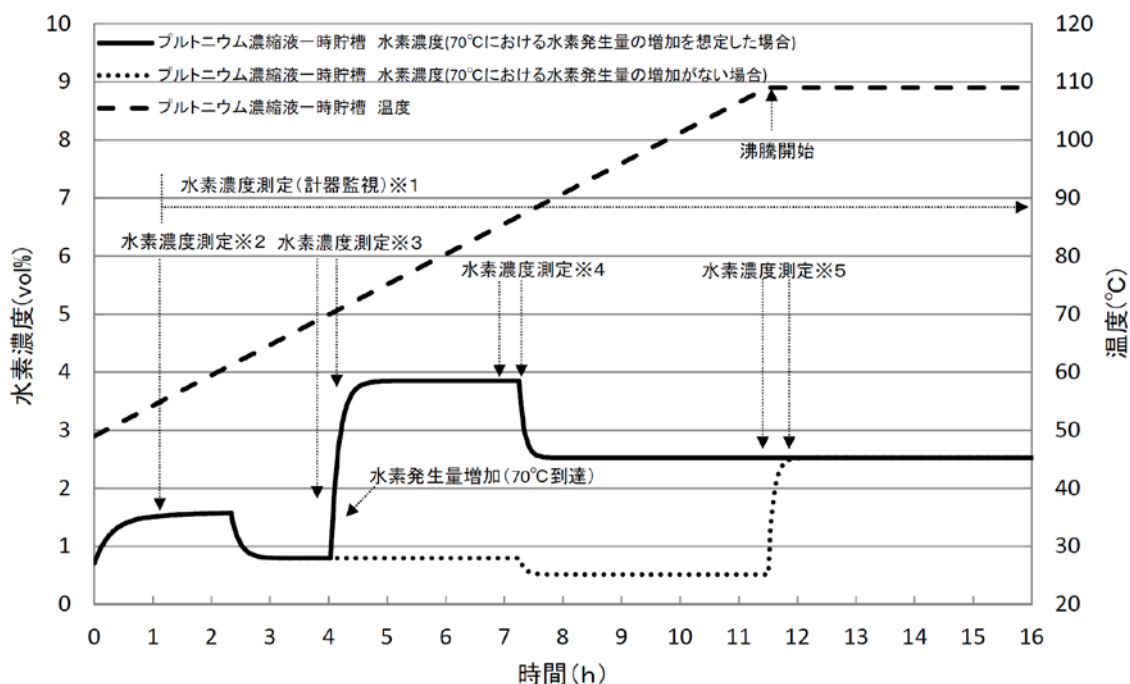
※1 水素掃気機能の喪失からの時間

※2 圧縮空気の供給がない場合に機器内の水素濃度が未然防止濃度に到達するまでの時間

※3 温度上昇が最も早いプルトニウム濃縮液一時貯槽の温度が70℃に到達するまでの時間

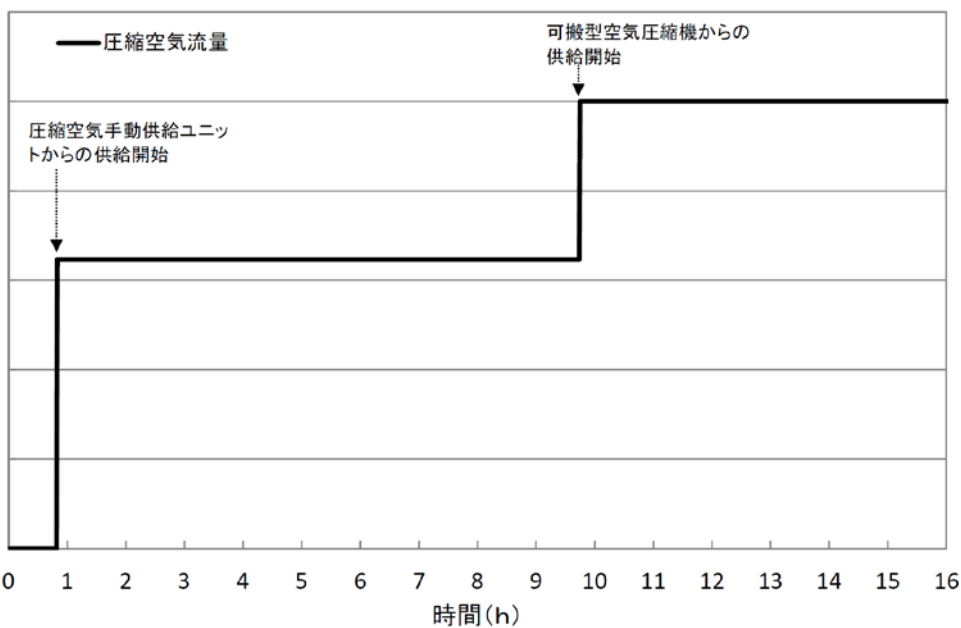
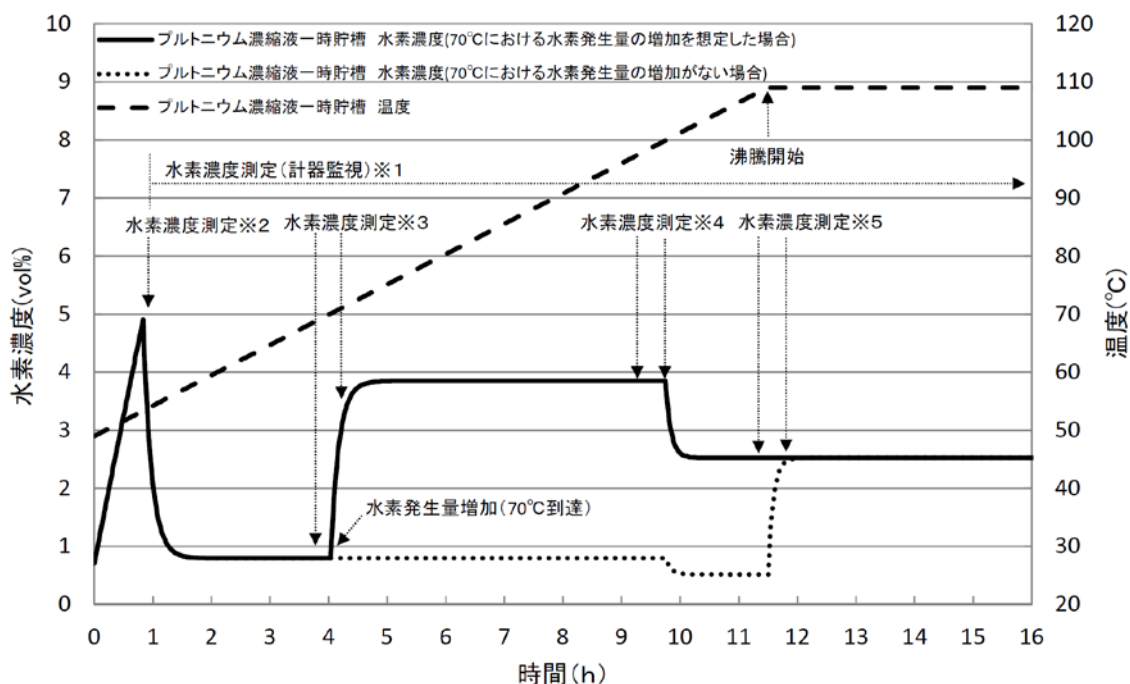
第7-2表 精製建屋における水素爆発の各対策に係る要員

機器グループ	機器名	水素爆発の発生防止対策		水素爆発の拡大防止対策	
		水素爆発を未然に防止するための空気の供給に必要な要員数 [人]	水素爆発の再発を防止するための空気の供給に必要な要員数 [人]	放出低減対策に必要な要員数 [人]	放出低減対策に必要な要員数 [人]
精製建屋 水素爆発	プルトニウム溶液供給槽	50 (建屋内 22, 建屋外 9, 統括 19)	52 (建屋内 24, 建屋外 9, 統括 19)	50 (建屋内 22, 建屋外 9, 統括 19)	
	プルトニウム溶液受槽				
	油水分離槽				
	プルトニウム濃縮缶供給槽				
	プルトニウム溶液一時貯槽				
	プルトニウム濃縮缶				
	プルトニウム濃縮液受槽				
	プルトニウム濃縮液一時貯槽				
	プルトニウム濃縮液計量槽				
	リサイクル槽				
	希釈槽				
	プルトニウム濃縮液中間貯槽				
	第2一時貯留処理槽				
	第3一時貯留処理槽				
第7一時貯留処理槽					



- ※1 水素濃度測定は、所定の頻度（90分）を満たすよう計測を実施する。
- ※2 水素濃度計設置完了後、速やかに水素濃度測定を開始する。
- ※3 溶液温度が70°Cに到達する前後で水素濃度測定を実施する。
- ※4 可搬型空気圧縮機からの供給開始の前後で水素濃度測定を実施する。
- ※5 溶液の沸騰開始前後で水素濃度測定を実施する。

第3図 発生防止対策に関する水素濃度，溶液温度，圧縮空気流量及び水素濃度測定タイミングに関する概要図



- ※1 水素濃度測定は、所定の頻度（90分）を満たすよう計測を実施する。
- ※2 水素濃度計設置完了後、圧縮空気手動供給ユニットからの供給開始後に速やかに水素濃度測定を開始する。
- ※3 溶液温度が70°Cに到達する前後で水素濃度測定を実施する。
- ※4 可搬型空気圧縮機からの供給開始の前後で水素濃度測定を実施する。
- ※5 溶液の沸騰開始前後で水素濃度測定を実施する。

第4図 発生防止対策に関する水素濃度，溶液温度，圧縮空気流量及び水素濃度測定タイミングに関する概要図

6. 「有効性評価における評価の条件設定の方針」への水素発生G値に関する記載の追加

これまで、28条5章「重大事故の対処に係る有効性評価の基本的な考え方」においては、水素発生G値に関する共通的な考え方を記載しておらず、水素発生G値の設定が必要な重大事故毎に、有効性評価に用いる水素発生G値を設定していた。

このため、有効性評価における評価の条件設定の方針に、共通的な条件として水素発生G値の設定方針をまとめる。

6. 1. 水素発生G値の設定方針

水素発生G値は、事故形態、溶液の種類、温度及び硝酸濃度に依存し、水素発生量が、溶液の沸騰状態及びかくはん状態に依存するため、重大事故の発生の前提となる溶液の状態、重大事故発生後の溶液の状態及びこれらの状態に対する重大事故等対策の実施状況並びに重大事故等が同時発生又は連鎖している場合を想定し、適切に設定する。

(1) 事故形態

「3. 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定」において特定された「臨界事故」、「冷却機能の喪失による蒸発乾固」、「放射線分解により発生する水素による爆発」、「TBP等の錯体の急激な分解反応」及び「使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷」を対象とする。

これらのうち、「臨界事故」については、臨界事故発生前後において、放射線量の急激な上昇が生じることから、これに起因する水素発生量の増加を適切に考慮できる水素発生G値を文献等に基づき設定する。

(2) 溶液の種類

「臨界事故」、「冷却機能の喪失による蒸発乾固」、「放射線分解により発生する水素による爆発」、「T B P等の錯体の急激な分解反応」及び「使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷」の発生の前提となる「硝酸溶液」、「有機溶媒」及び「水」ごとに水素発生G値を設定する。

(3) 溶液の温度

各溶液の事象進展の過程における温度変化を基に、水素発生G値の温度依存性の考慮の必要性を判断する。

事象進展の過程において温度変化がある場合には、文献等に基づき各溶液の温度依存性を適切に考慮するとともに、設定にあたっての不確かさを適切に考慮し、水素発生G値を設定する。

(4) 硝酸濃度

対象とする溶液が「硝酸溶液」の場合には、硝酸濃度に応じた水素発生G値を文献等に基づき設定する。なお、事象進展の過程において溶液の性状変化等に伴い、硝酸濃度の変動がある場合には、有効性評価における硝酸濃度の変動の影響を硝酸濃度変動の特徴に応じて適切に考慮する。

(5) 溶液の沸騰及びかくはん状態

溶液が沸騰に至った場合及び空気供給により、溶液中に有意な気泡が発生する場合には、水素発生G値が見かけ上増加することで、水素発生量が増加する不確かさを有することから、文献等に基づき、溶液が沸騰又はかくはん状態にある場合の水素発生G値を適切に設定するとともに、不確かさに対し、設備容量の余力の確保及び操作等の運用上の考慮を適切に行う。

7. 整理資料における同時発生又は連鎖に関する記載の見直し

整理資料 28 条第 6 章から第 11 章における「同時発生又は連鎖」の記載内容の再整理を実施する。

また、整理資料 28 条第 5 章の記載事項についても本再整理に準じた記載に見直す。

(1) 事象進展及び事故規模の分析の整理

現行の整理資料では、「事象進展及び事故規模の分析」が連鎖を主眼に、設計基準の安全機能への影響の観点で整理されているが、同時発生における他事象の重大事故等対策への影響にも共通する分析事項であることを踏まえ、記載内容及び記載場所を変更する。

(2) 同時発生の整理

整理資料 28 条第 13 章「13. 重大事故が同時に又は連鎖して発生した場合の対処」へ預けていた記載内容を整理資料 28 条第 6 章から第 11 章の各章に記載する。

記載事項の内容は、

- ✓ 「(1) 事象進展及び事故規模の分析」を受けて、異種の事故影響が相互に与える影響を明らかにする。
- ✓ 明らかにした相互影響を基に、互いの重大事故等対策の容量不足等が生じるか否かを整理する。
- ✓ 重大事故等対策を阻害する可能性がある場合には、整理資料 28 条第 13 章にて追加対策等の有効性を再評価する。

(3)連鎖の整理

従来の整理資料からの記載事項の変更はない。

以上の整理の方針の全体像を第8表に示す。

また、蒸発乾固及び水素爆発が同時に発生した際の分析内容及び再整理の概要を7.1に、各重大事故における連鎖の分析の概要を7.2に例示する。

なお、7.1及び7.2に記載している内容は、今回の水素発生量の不確かさの扱いの再整理の結果、有効性評価の内容に影響を受ける可能性のある重大事故等についての概要を示したものであるが、整理資料では、水素発生量の不確かさの扱いの再整理の影響の有無によらず、すべて同様の見直しを実施する。

第8表 同時発生及び連鎖の整理の方針

	事故の形態	整理資料の整理先	本資料の該当項
同時発生	複数の貯槽で同じ事故が同時発生する	【従前】 整理資料28条6章から11章 【今後】 同上	—
	異なる種類の重大事故が同時発生する	【従前】 整理資料28条13章 【今後】 整理資料28条6章から11章	7.1 (蒸発乾固及び水素爆発の同時発生の観点)
連鎖	発生個所での他の重大事故の連鎖	【従前】 整理資料28条6章から11章 【今後】 同上	7.2 (臨界、蒸発乾固、TBPの観点)
	発生個所外への重大事故の連鎖		

7. 1 事故の同時発生に伴う相互影響

(整理資料 28 条第 7 章及び 8 章に反映)

(1) 事象進展及び事故規模の分析

蒸発乾固及び水素爆発が同時発生した場合の相互影響の概要は次のとおり。

① 水素爆発⇒蒸発乾固

水素爆発が発生すると想定した場合、水素爆発に伴い生じるエネルギーは数十MJ程度であり、水素爆発により生じたエネルギーが全て高レベル廃液等に付加されることを仮定したとしても、高レベル廃液等の温度上昇は1℃未満であり、貯槽等からの実際の放熱による除熱効果を考慮すれば、その影響は無視できる程度であることから、水素爆発の影響によって蒸発乾固の対策に影響を与えることはない。

② 蒸発乾固⇒水素爆発

高レベル廃液等の沸騰に伴う溶液の対流は、溶液内の水素を気相部に追い出す効果となるため、沸騰により高レベル廃液等の見かけ上のG値が増加し、水素発生量が増加するという特徴を有する。

(2) 設備の観点

✓ 各重大事故等へ講じられる対策は、以下の観点で実施され、各々違う観点であり、重大事故等が同時発生した場合であっても同じであり、各重大事故等対策が競合することはない。

- 蒸発乾固の場合は、機器に内包する高レベル廃液等の温度を沸点未満に維持する又は機器の液位を維持する観点
- 水素爆発の場合は、高レベル廃液等を内包する機器の気相部の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する観点

- ✓ また、重大事故等対策に使用する設備も重大事故等ごとに専用の設備を整備することから、設備が競合することはない、各設備の操作条件及び必要な容量も、重大事故等が同時発生した場合を前提として整備している。
- ✓ 水素爆発による蒸発乾固の対処に使用する設備容量に対する影響は、(1)①に記載したとおり、影響が無視できる程度であり、追加の措置は必要なく、これは従来と同じである。
- ✓ 蒸発乾固による水素爆発の対処に使用する設備容量に対する影響は、(1)②に記載したとおりであり、従来は高レベル廃液等が沸騰した際のG値として、2倍を設定し、必要な容量が確保されていることを確認していたが、今回の水素爆発への対処方針の再検証において、対策の作業遅れを想定し、圧縮空気手動供給ユニットに対してさらに余裕を確保した容量を確保することとした。

(3) 手順の観点

- ✓ 蒸発乾固及び水素爆発のいずれの対策も、沸騰開始時刻又は未然防止濃度到達時刻に対して対策の作業遅れを考慮した時間余裕を確保し、必要な作業を完了させる方針であり、これは同時発生の場合も同様である。
- ✓ 蒸発乾固又は水素爆発が単独で発生した場合の作業計画は、蒸発乾固及び水素爆発が同時に発生することを前提に、各々の事故の相互影響を考慮し整備していることから、重大事故等が同時発生することを想定しても、新たに考慮しなければならない事項はない。

(3) 結論

設備容量の増加が生じたものの、重大事故等の同時発生を前提として容量の増加であり、また、手順も、水素発生量の増加を織り込んだ上で、重大事故が同時発生していることを前提に整備していることから、有効性評価の判断基準を満足することにかわりはない。

7. 2. 同時発生（整理資料28条第13条）の記載事項

整理資料第28条13条には、重大事故が同時発生した際の大気中への放射性物質の放出量、必要な要員及び資源の評価を記載する。

7. 3 連鎖への影響

(1) 蒸発乾固から水素爆発への連鎖（整理資料 28 条 7 章へ反映）

- ✓ 蒸発乾固の発生が想定される貯槽等は、全て安全圧縮空気系による水素掃気が実施されている。
- ✓ 蒸発乾固から水素爆発への連鎖は、水素発生量の増加による安全圧縮空気系の容量不足が生じるか否かの観点となる。
- ✓ 安全圧縮空気系の圧縮空気供給量及び貯槽等の気相部の水素濃度を 8 v o 1 % に維持するために必要な空気量の比較を第 9 表に示す。
- ✓ 蒸発乾固は、拡大防止対策の実施状況を考慮すると、沸騰、濃縮、希釈を繰り返した後、冷却コイル等への通水の実施により溶液が冷却され、事態が収束する。
- ✓ 蒸発乾固の発生が想定される溶液のうち、冷却コイル等への通水が実施される前に希釈される溶液（機器への注水が実施される溶液）は、プルトニウム濃縮液のみであり、希釈後の硝酸濃度は、通常時が 7 N であるのに対して 5 N となる。

- ✓ 水素発生G値は、7 Nの硝酸溶液が 0.048 であるのに対して5 Nの硝酸溶液が 0.059 であり、希釈後のプルトニウム濃縮液の水素発生量は、通常時の約 1.3 倍になる程度である。
- ✓ 第9表に示すとおり、安全圧縮空気系からの圧縮空気供給量には十分な余裕があり、貯槽等の気相部の水素濃度をドライ換算 4 v o 1 %未満に維持できることから、蒸発乾固の発生による水素発生量の増加を考慮しても、安全圧縮空気系の容量が不足することはなく、また、機器への注水による溶液の希釈を考慮しても、水素爆発が連鎖して発生することはない。

(2) 臨界から水素爆発への連鎖（整理資料 28 条 6 章へ反映）

- ✓ 臨界事故への対処において、臨界事故により発生した放射線分解水素を掃気するため、一般圧縮空気系から水素掃気のための空気を供給する。これにより、溶液中に空気の気泡が生じ、見かけ上のG値が上昇する可能性は考えられるが、その場合でも臨界事故の収束時点における水素濃度はドライ換算 4 v o 1 %を下回ることはない。そのため、水素爆発が連鎖して発生することはない。

(3) T B P 等の錯体の急激な分解反応から水素爆発への連鎖（整理資料 28 条 10 章へ反映）

- ✓ プルトニウム濃縮缶は、安全圧縮空気系による水素掃気が実施されている。
- ✓ T B P 等の錯体の急激な分解反応から水素爆発への連鎖は、水素発生量の増加による安全圧縮空気系の容量不足が生じるか否かの観点となる。
- ✓ プルトニウム濃縮液が平常運転時よりも濃縮し温度が上昇することに

より、水素発生量が多くなるものの、安全圧縮空気系からの圧縮空気供給量は、機器気相部の水素濃度をドライ換算4 v o 1 %未満に維持することができることから、安全圧縮空気系の容量が不足することはない。水素爆発が連鎖して発生することはない。

第9表 安全圧縮空気系の圧縮空気供給量及び貯槽等の気相部の水素濃度を
8 v o 1 %に維持するために必要な空気量の比較

建屋	機器	通常流量と 8%維持流量の比
前処理建屋	中継槽	18
	計量前中間貯槽	11
	計量・調整槽	12
	計量後中間貯槽	12
	計量補助槽	25
	中間ポット	25
	リサイクル槽	25
分離建屋	プルトニウム溶液受槽	35
	プルトニウム溶液中間貯槽	35
	第2一時貯留処理槽	35
	第3一時貯留処理槽	10
	第4一時貯留処理槽	12
	高レベル廃液濃縮缶	10
	溶解液中間貯槽	11
	溶解液供給槽	25
	抽出廃液受槽	20
	抽出廃液中間貯槽	15
	抽出廃液供給槽	10
	高レベル廃液供給槽	25
	第1一時貯留処理槽	34
	第6一時貯留処理槽	34
	第7一時貯留処理槽	35
第8一時貯留処理槽	35	
精製建屋	プルトニウム溶液供給槽	25
	プルトニウム溶液受槽	25
	油水分離槽	25
	プルトニウム濃縮缶供給槽	12
	プルトニウム溶液一時貯槽	12
	プルトニウム濃縮缶	25
	プルトニウム濃縮液受槽	15
	プルトニウム濃縮液一時貯槽	15
	プルトニウム濃縮液計量槽	16
	リサイクル槽	16
	希釈槽	33
	プルトニウム濃縮液中間貯槽	16
	第2一時貯留処理槽	25
	第3一時貯留処理槽	17
	第7一時貯留処理槽	10
第1一時貯留処理槽	14	
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	硝酸プルトニウム貯槽	23
	混合槽	30
	一時貯槽	23

建屋	機器	通常流量と 8%維持流量の比
高レベル廃液ガラス 固化建屋	高レベル濃縮廃液貯槽	210
	高レベル濃縮廃液一時貯槽	200
	高レベル廃液混合槽	210
	供給液槽	150
	供給槽	50
	高レベル廃液共用貯槽	210

臨界の有効性評価 要旨

1. 事故の特徴

核燃料物質を内包する機器においては、技術的に見て想定されるいかなる場合でも臨界を防止するため、形状、寸法、溶液中の核燃料物質濃度等の適切な核的制限値をもって核的制限値を超えないよう管理することで未臨界を維持するよう設計している。

核的制限値に係る管理が機能せず、核燃料物質が含まれる溶液において臨界事故が発生した場合、臨界に達した直後に短時間の出力上昇を何回か繰り返しながら核分裂反応が継続する。

その過程において核分裂反応により核分裂生成物が生成され、希ガス、ヨウ素等の気体状の放射性物質が気相に移行する。また、核分裂反応のエネルギー放出による溶液の急激な温度上昇、及び溶液の放射線分解による水素発生で気泡が生じるため、気泡が液面に到達して飛沫の発生によりエアロゾル状の放射性物質が気相に移行する。

さらに、放射線分解により発生する水素（以下、「放射線分解水素」という。）は、臨界継続中は通常より多量であり、溶液を取り扱う機器内の水素濃度が高くなると水素爆発が発生するおそれがある。水素爆発が発生すると、水素爆発での圧力変動による飛沫が発生することにより放射性エアロゾルが気相に移行するため、臨界継続中に水素爆発が同時に発生すると臨界事故が単独で発生したときよりも気相に移行する放射性物質が増加する。

臨界事故は、2 建屋 8 機器で発生する。

2. 事故の特徴を踏まえた対策と考え方

臨界事故が発生した場合、拡大防止対策として速やかに未臨界に移行し、それを維持するため可溶性中性子吸収材を臨界事故の発生した機器に自動で供給する。また、臨界事故が発生した機器への更なる核燃料物質の供給を防止するため、固体状又は液体状の核燃料物質の移送を停止する。

さらに、臨界事故に伴い発生するおそれのある水素爆発を防止し気相に移行する放射性物質の量を抑制するため、水素掃気を実施し機器内の水素濃度がドライ換算 8 v o 1 % に至ることを防止する。

また、気相中に移行した放射性物質の大気中への放出を防止するため、臨界事故発生後、速やかに、臨界事故が発生した機器が接続されるせん断処理・溶解廃ガス処理設備又は精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）（以下、「廃ガス処理設備」という。）の流路を遮断するとともに気相中に移行した放射性物質を貯留設備の貯留タンクに導き放射性物質を貯留タンクへ閉じ込める。

また、貯留タンクが所定の圧力に達した場合、排気経路を廃ガス処理設備に切り替え、廃ガス処理設備から主排気筒を介して放出する。

拡大防止対策による事態の収束は、未臨界が維持され、臨界事故による放射性物質の放出が止まり、水素濃度が平常運転時と同様に可燃限界濃度（ドライ換算 4 v o 1 %）未満となることとし、事態の安定化はこれらの事故対策により事態の収束が見込めることとする。

3. 具体的対策

臨界検知用放射線検出器により臨界事故の発生を検知した場合、重大事故時可溶性中性子吸収材供給槽から自動で臨界事故が発生した機器に可溶性中性子吸収材を重力流で供給する。

臨界検知用放射線検出器により臨界事故の発生を検知した場合、中央制御室における緊急停止機能操作によって速やかに固体状又は液体状の核燃料物質の移送を停止する。

また、安全圧縮空気系の水素掃気用の圧縮空気及び一般圧縮空気系の計測制御用の圧縮空気による水素掃気に加え、一般圧縮空気系の空気取出口と臨界事故が発生した機器に接続する配管（溶解設備、精製建屋一時貯留処理設備又は計測制御設備の配管）を可搬型建屋内ホースにより接続し、一般圧縮空気系から空気を臨界事故が発生した機器に供給し水素掃気を実施する。

臨界検知用放射線検出器により臨界事故の発生を検知した場合、貯留タンクに放射性物質を導出するため、貯留設備の隔離弁を自動開放するとともに貯留設備の空気圧縮機を自動で起動し貯留タンクに放射性物質を導く。同時に、廃ガス処理設備の流路を遮断するため、隔離弁を閉止する。精製建屋にあつては隔離弁の閉止に加え、排風機を自動で停止する。

上記の導出操作は、貯留タンクの圧力が所定の圧力（0.7MPa）に達するまで継続し、所定の圧力に達した場合には、排気経路を廃ガス処理設備に切り替える。

この操作は中央制御室からの操作で、廃ガス処理設備の隔離弁を開放するとともに廃ガス処理設備の排風機を起動する。この際、貯留タンクには逆止弁が設けられているため、貯留タンクから廃ガス処理設備への放射性物質の逆流はない。その後、中央制御室からの操作で貯留設備の隔離弁を

閉止する。

これらの操作により、排気を廃ガス処理設備から主排気筒を介して放出する。

このため、臨界検知用放射線検出器、緊急停止系、緊急停止操作スイッチ、重大事故時可溶性中性子吸収材供給槽、空気圧縮機、貯留タンク、配管、可搬型建屋内ホース、弁、圧力計、流量計、放射線モニタ、サーベイメータ等を重大事故等対処設備として新たに整備する。また、廃ガス処理設備、安全圧縮空気系、一般圧縮空気系、監視制御盤、安全系監視制御盤、電気設備、溶解設備、精製建屋一時貯留処理設備、主排気筒、一般冷却水系、低レベル廃液処理設備、放射線監視設備、試料分析関係設備、環境管理設備等を常設重大事故等対処設備に位置づける。

4. 有効性評価

4.1 代表事例

臨界事故の発生を想定する機器に対し、有効性評価の各項目において最も厳しい結果を与える機器を代表として選定する。

4.2 代表事例の選定理由

未臨界に移行すること及び未臨界が維持されることの確認においては、未臨界に移行するために必要な可溶性中性子吸収材の量を最も多く要する機器である前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽を代表とする。

水素濃度の確認においては、水素濃度が最も高くなる機器である前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽を代表とする。

放射性物質の放出量の確認においては、プルトニウムの濃度が最も高く、気相部の容積が大きいため機器内に残留する割合が大きくなり、放出量に対する影響が大きくなる機器である精製建屋の第7一時貯留処理槽を代表として選定する。

4.3 有効性評価の考え方

拡大防止対策に係る有効性については、未臨界に移行すること及び未臨界が維持されることを確認するため、可溶性中性子吸収材の供給後の機器における実効増倍率を評価する。また、臨界時における水素爆発のおそれがないことを確認するため、機器内の水素濃度を評価する。この評価では発生した水素は気相に移行するとし、機器の気相中の雰囲気の水素掃気として供給される空気と混合され、機器から排気系に移行するとして評価する。

放射性物質の放出量評価として、拡大防止対策の実施状況を踏まえ、機

器から気相へ移行する放射性物質の量，放出経路における低減割合，貯留タンクへの放射性物質の導出を考慮し，事態の収束までに大気中へ放出する放射性物質量をセシウム 137 換算として評価する。気体状の希ガス及びよう素については，これらの元素による長期的な被ばく影響が十分小さいことから，セシウム 137 換算の放出量については，長期的な被ばく影響を評価する観点から算出していることを踏まえ，溶液中に溶解している核燃料物質等の放射性物質を評価対象とする。

臨界事故時の核燃料物質を有する体系のうち，実効増倍率の評価においては，三次元の体系を取り扱うことができ，評価済みの核データライブラリを用いたモンテカルロ法による臨界評価計算が行え，臨界実験等により検証されている J A C S コードシステムを用いる。J A C S コードシステムで用いる核データライブラリは，E N D F / B - I V である。なお，非均質体系の臨界計算においては実効増倍率の計算に先立って体系の均質化を行う。

水素濃度の評価については水素発生量，機器の気相部容積等を用いた簡便な計算で実施する。

4.4 事故の条件

内部事象により臨界事象が発生することを想定する。

事故の起因と関連性のない安全機能を有する施設についてはその安全機能の喪失を想定しない。

臨界事故時の核分裂反応の規模については，過去に発生した臨界事故の規模を踏まえ，臨界状態を継続させた場合の全核分裂数を 1×10^{20} f i s s i o n s と設定した上で，臨界に達した直後の短時間の出力上昇時の核分裂数を 1×10^{18} f i s s i o n s ，臨界状態を継続している期間におけ

る核分裂率を 1×10^{15} f i s s i o n s / 秒に設定する。

4.5 機器の条件

前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽に供給する可溶性中性子吸収材は、硝酸ガドリニウム、1 Lあたりガドリニウム 150 g を含む溶液とし、未臨界に移行するために十分な量として 28 L とする。これにより、前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽に供給されるガドリニウム量は 4,200 g となる。また、可溶性中性子吸収材は、臨界検知用放射線検出器による臨界検知後 10 分で自動で前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽に供給を完了する。

臨界事故時に気相に移行した放射性物質は、臨界検知用放射線検出器により臨界事故の発生を検知し、精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁を自動で閉止するとともに排風機を自動で停止することで流路を遮断し、空気圧縮機の自動起動によって臨界検知後 1 分で貯留タンク（容量約 11m^3 ）への導出を開始し、貯留タンクが所定の圧力へ達するまで継続し、その後精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に切り替える。

水素掃気の流量については、平常運転時に前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽に供給されている一般圧縮空気系の計測制御用の圧縮空気による水素掃気は事故後も継続されるとして、 $0.2\text{m}^3/\text{h}$ とし、臨界検知後に一般圧縮空気系の空気取出口と溶解設備の配管又は計測制御設備の配管を、可搬型建屋内ホースにより接続し、一般圧縮空気系から供給する空気の流量は $6\text{m}^3/\text{h}$ とする。

機器に内包する核燃料物質及び放射性物質の組成、濃度、崩壊熱密度は設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特で考慮した条件を設定する。具体的には、実効増倍率の評価においては、前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽への燃料せん断片の過装荷が発生した

として、燃料集合体 1 体に相当する核燃料物質（質量約 550 k g ・ U O ₂）が装荷されるとし、水素濃度の評価においては、前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽内の溶液の崩壊熱密度が平常運転時の崩壊熱密度よりも上昇し、溶解液と同様となっていることを想定して崩壊熱密度（600W / m³）を設定する。

放射性物質の放出量評価においては、精製建屋の第 3 一時貯留処理槽から精製建屋の第 7 一時貯留処理槽へ誤移送が発生したとして、精製建屋の第 3 一時貯留処理槽の平常運転時の最大値とする。

また、核燃料物質の組成については臨界評価結果と放出量評価結果が厳しくなる組成を設定する。

4.6 操作の条件

緊急停止系を用いた操作は、中央制御室からの操作で、臨界検知後 1 分で完了できる。

前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽への一般圧縮空気系からの水素掃気用空気の供給は、現場での操作で、臨界検知後 40 分で開始し、事態の安定化まで継続する。

貯留タンクの圧力が所定の圧力に達した後に実施する廃ガス処理設備の排風機の起動操作は、圧力が所定の圧力に達したことを起点として、中央制御室からの操作により 3 分で完了できる。その後、貯留設備の空気圧縮機を停止する操作を、廃ガス処理設備の起動操作後、5 分で完了する。

4.7 放出量評価の条件

気相への移行割合については、核分裂で生成する核種のうち希ガスは100%、ヨウ素は25%、ルテニウムは溶液中の保有量の0.1%とし、その他の放射性物質は核分裂反応の熱エネルギーによる蒸発量に相当する溶液中の保有量の0.05%と設定する。

また蒸発量の算出においては核分裂により発生する熱エネルギーがすべて溶液の蒸発に使用されるとする。

臨界事故において気相中に移行した放射性物質は貯留タンクに閉じ込められるが、25%が精製建屋の第7一時貯留処理槽内に残留し、廃ガス処理設備への切替えに伴い廃ガス処理設備により放射性物質を低減したうえで主排気筒から放出するとする。

その際の放出経路における低減割合については、廃ガス処理設備の高性能粒子フィルタの2段による除染係数を 10^4 、放出経路構造物への沈着による除染係数を10とする。

放射性物質の放出量のセシウム137換算係数についてはIAEA-TECDOC1162に示される地表沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく等にかかる実効線量への換算係数を用いて、セシウム137と着目核種との比から算出する。ただし、プルトニウム等の一部の核種については、セシウム137と着目核種との比に加え化学形態による影響の違いを補正する係数を乗じる。

4.8 判断基準

臨界事故の拡大防止対策の有効性評価の判断基準は、可溶性中性子吸収材供給後、臨界事故が発生した機器の実効増倍率が0.95を下回ること。

また、臨界事故時に機器内の水素濃度がドライ換算8vol%未満に維

持できること。

放出量評価は、臨界事故発生から事態の収束までの大気中への放射性物質の放出量がセシウム 137 換算で 100 T B q を下回るものであって、かつ実行可能な限り低いこと。

5. 有効性評価の結果

5.1 拡大防止対策

拡大防止対策の有効性については、臨界事故発生時には可溶性中性子吸収材の自動供給により臨界事故発生後 10 分以内に未臨界に移行するために必要な可溶性中性子吸収材を供給でき、この際、前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽において、実効増倍率が 0.94 であり、未臨界に移行できる。また、緊急停止系により固体状及び液体状の核燃料物質の移送が停止するため、エンドピース酸洗浄槽の実効増倍率は 0.95 を下回り、未臨界を維持できる。

臨界事故の発生により機器内の水素濃度は上昇するが、平常運転時に前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽に供給されている一般圧縮空気系の計測制御用の圧縮空気による水素掃気により、前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽においてドライ換算 7 v o 1 % 未満となりドライ換算 8 v o 1 % に至らない。臨界検知後 40 分の時点から実施する可搬型建屋内ホースを用いた一般圧縮空気系からの水素掃気用空気の供給及び平常運転時から機器に供給される空気により、事態の安定化時点において可燃限界濃度未満の状態に移行する。

また、臨界事故の発生を検知してから貯留タンク内の圧力が規定の圧力である 0.7MP a に達するまでの間は、大気中への放射性物質の放出は生じない。貯留タンクの圧力が規定の圧力に達した後、排気経路を貯留タンクへの経路から廃ガス処理設備に切り替えることで、機器内に残留した放射性物質が放出され、精製建屋の第 7 一時貯留処理槽での臨界事故の場合、大気中への放射性物質の放出量はセシウム 137 換算で約 8×10^{-7} T B q となる。

5.2 不確かさの影響評価

5.2.1 解析コードの不確かさの影響

JACSコードシステムは臨界実験データの実効増倍率について、核データライブラリ等に起因して評価結果にばらつきを有する傾向にあることから、未臨界に移行したことの判断基準については、評価結果にばらつきがあることを踏まえ、体系の実効増倍率 0.95 以下としている。

このため、体系の実効増倍率 0.95 以下に必要な可溶性中性子吸収材が供給された体系は十分に未臨界な状態であり、解析コードの不確かさが未臨界に移行したことの判断に与える影響はない。

また、実効増倍率を起点としている操作はないことから解析コードにおける特有の傾向が運転員等の操作に直に与える影響はない。

5.2.2 事象、事故条件及び機器条件の不確かさの影響

臨界事故時に想定している全核分裂数は、過去の臨界実験の知見から不確かさとして、約 2 倍に増加するおそれがある。

この結果として、沸騰が継続することにより水と核燃料物質の減速比が変化した場合においても可溶性中性子吸収材の供給により実効増倍率が 0.95 を下回ることを解析により確認しているため、未臨界への移行について、判断基準を満足することには変わりはない。また、機器の気相中に移行する放射性物質量は約 2 倍に増加するため、大気中への放射性物質の放出量は約 2×10^{-6} TBq となるおそれがあるが、判断基準を満足することには変わりはない。

臨界事故時における核分裂数については、供給完了までの時間に保守性を見込んでいること及び未臨界移行後の実効増倍率を 0.95 以下と評価していることから、評価時間より早期に未臨界状態に移行できると考えられ、

核分裂数が少なくなることで気相に移行する放射性物質や水素発生量が減少し、大気中への放射性物質の放出量や機器内の水素濃度が低下することから判断基準を満足することに変わりはない。

一般圧縮空気系からの水素掃気のための空気の供給により、溶液がかくはん状態となり、溶液中から機器の気相部への水素の移行量が増大することで、溶液由来の放射線分解水素にかかる見かけ上のG値が上昇する可能性が考えられるが、一般圧縮空気系からの水素掃気のための空気の供給流量は水素濃度をドライ換算4 v o 1 %未満に希釈できるほど十分に多く、また、この空気の供給は事態の安定化後に停止する。そのため、臨界事故の収束時点における水素濃度はドライ換算4 v o 1 %を下回り、判断基準を満足することに変わりはない。

事態の収束までの大気中への放射性物質の放出量（セシウム137換算）については、臨界事故により影響を受ける割合や放出経路における放射性物質の除染係数に不確かさがある。これらの不確かさとして、溶液の沸騰量が想定よりも小さい場合や、放出量評価に用いた核種組成や放出経路上での除染係数が評価上の設定よりも厳しくない場合を考慮すると、放出量が小さくなることも想定される。

なお、沸騰に伴い気相中へ移行する放射性物質に、気体状の放射性物質が含まれていた場合には、経路上の除染係数が期待できず、大気中への放射性物質の放出量（セシウム137換算）は1桁未満の増加となる可能性がある。

このように不確かさを有するものの、これらを考慮した場合でも判断基準を満足することに変わりはない。

5.2.3 操作条件の不確かさの影響

一般圧縮空気系の空気取出口と溶解設備の配管又は計測制御設備の配管を、可搬型建屋内ホースにより接続し、一般圧縮空気系から空気を供給する操作においては、供給開始までの時間によらず、一般圧縮空気系の計測制御用の圧縮空気による水素掃気により、前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽内の水素濃度はドライ換算8vol%未満を維持できることから、判断基準を満足することに変わりはない。

排気経路の廃ガス処理設備への切替えの操作については、切替えの操作が想定よりも時間を要した場合においても、貯留タンクと廃ガス処理設備との間に設置する逆止弁により、貯留タンク内の放射性物質が廃ガス処理設備に移行することは無い。また、切替えの操作に想定よりも時間を要した場合には、貯留タンク内の圧力が空気圧縮機の吐出圧に達することで、貯留タンクへの放射性物質の導出が困難となり、廃ガス処理設備の水封部からセルに放射性物質が導出され、建屋換気設備の高性能粒子フィルタにより除去されることで、経路上の除染係数が2桁程度低下する可能性がある。

このように不確かさを有するものの、これらを考慮した場合でも判断基準を満足することに変わりはない。

6. 同時発生及び連鎖

6.1 重大事故等の事象進展，事故規模の分析

本重大事故の事象進展，事故規模の分析により明らかとなった平常運転時からの状態の変化等は，平常運転時を上回る核燃料物質の集積，核分裂反応のエネルギー放出による溶液の急激な温度上昇，溶液が沸騰した場合の蒸気による放射性物質の貯留設備への導出経路内及び貯留設備での湿度の上昇，溶液の放射線分解による水素発生並びに水蒸気の発生等による機器の圧力上昇及び核分裂反応に伴う放射線による線量率の上昇となる。

具体的には，核燃料物質の集積については，プルトニウムが最も多量に蓄積する機器である精製建屋の第7一時貯留処理槽において，72 kg・Puを想定している。

核分裂反応のエネルギー放出による溶液の急激な温度上昇については，平常運転時は未沸騰状態であるが，前処理建屋のハル洗浄槽及び精製建屋の第5一時貯留処理槽において沸点（約110℃）に至る。

溶液が沸騰した場合の蒸気による放射性物質の貯留設備への導出経路内及び貯留設備での湿度の上昇については，発生する蒸気により多湿環境となる。

溶液の放射線分解による水素発生については，臨界事故時に水素濃度が最大となる前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽においてドライ換算7 vol%未満となり，ドライ換算8 vol%には至らない。

水素発生等による機器の圧力上昇については，3 kPa程度まで圧力が上昇する。

これらの平常運転時からの状態の変化等は，機器のバウンダリを超えて他の機器に影響を及ぼすものではない。

また、核分裂反応に伴う放射線による線量率の上昇については、臨界事故が発生した機器が設置されたセル及びセル近傍の線量率が平常運転時に比べて上昇する。

これらの平常運転時からの状態の変化等を考慮した同時発生する重大事故等の重大事故等対策に与える影響及び連鎖して発生する可能性のある重大事故等は以下のとおりである。

6.2 重大事故等の同時発生

臨界事故は、事象選定で示すとおり、動的機器の多重故障又は核燃料物質の誤移送等の誤操作が繰り返され、核燃料物質の異常な集積を検知できない場合に発生するものであり、その具体的な発生条件は機器毎に異なるものの、それぞれの発生条件は同種の重大事故等及び異種の重大事故等の起因となる安全機能の喪失に当たらないことから、重大事故等が同時に発生することは想定されない。

6.3 重大事故等の連鎖

蒸発乾固への連鎖については、溶液が沸騰に至るかに関して、臨界事故に伴う核分裂反応の継続中に溶液の沸騰が一時的に生じる。また、平常運転時を上回る核燃料物質の集積等（F Pを含む）により崩壊熱密度が精製建屋の第7一時貯留処理槽で約3倍となる。しかし、事態の安定化後は、核分裂反応による溶液温度の上昇は無く、また、機器内の溶液は機器からセルへの放熱により冷却されるため、溶液の沸騰が継続することはない。また、臨界事故による溶液の沸騰量は約23 Lと小さく、機器内の水分が喪失することもない。

以上より、蒸発乾固への連鎖は想定されない。

放射線分解により発生する水素による爆発への連鎖については、核分裂反応によるエネルギー放出及び平常運転時を上回る核燃料物質の集積により水素発生量が増加し機器内の水素濃度は上昇するが、臨界事故が発生する機器の空間により水素が希釈されること及び水素掃気量は水素発生量に対して十分な余力を有しており、水素濃度が最も高くなる前処理建屋のエンドピース酸洗浄槽においてドライ換算7 v o 1 %未満となる。また、事態の収束時点の平衡状態における水素濃度は、最も高くなる機器である前処理建屋の溶解槽でドライ換算3.8 v o 1 %であって可燃限界濃度未満に維持されることから、放射線分解により発生する水素による爆発は生じない。

なお、臨界事故が発生した機器と同一のセルに設置される他の機器に核分裂反応に伴う放射線が入射することで、放射線分解水素が発生することが考えられるが、その発生量は微小であり、機器内の水素濃度はドライ換算8 v o 1 %未満に維持され、速やかにドライ換算4 v o 1 %を下回る。

T B P等の錯体の急激な分解反応への連鎖については、臨界事故の発生を想定する機器には平常運転時において有意な量のT B Pを含む有機溶媒を貯留することはなく、また、臨界事故の起因との関係でT B Pを含む有機溶媒を誤移送することもない。

さらに、臨界事故時において、機器に接続する配管等で構成されるバウンダリは健全性を維持することから、T B P等を含む有機溶媒が誤って混入することもないため、T B P等の錯体の急激な分解反応への連鎖は想定されない。

有機溶媒火災への連鎖については、臨界事故の発生を想定する機器には平常運転時において有意な量の有機溶媒を貯留することはなく、また、臨界事故の起因との関係で有機溶媒を誤移送することもない。

さらに、臨界事故時において、臨界事故の発生を想定する機器に接続する配管等で構成されるバウンダリは健全性を維持することから、有機溶媒が誤って混入することもないため、有機溶媒火災への連鎖は想定されない。

使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷への連鎖については、臨界事故の発生を想定する機器と使用済燃料の受入施設及び貯蔵施設は異なる建屋に位置していることから、臨界事故による事故影響が当該バウンダリを超えて波及することはないため、使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷への連鎖は想定されない。

その他の放射性物質の漏えいへの連鎖については、臨界事故の発生を想定する機器及びこれに接続する配管並びにその他の安全機能を有する機器で構成されるバウンダリは、平常運転時からの状態の変化等を踏まえても、健全性を維持することから、その他の放射性物質の漏えいの発生は考えられない。

7. 必要な要員及び資源

臨界事故対策に必要な要員及び燃料等については臨界事故の対処に水源を要する対策はなく、また、電気設備以外の電源の使用は必要ないことから、軽油等の燃料の消費はない。

臨界事故に対する拡大防止対策に必要な要員は、14名であり、これに対し実施組織要員は17名であり対応可能である。

蒸発乾固の有効性評価 要旨

1. 事故の特徴

冷却機能の喪失による蒸発乾固の発生が想定される冷却が必要な溶解液、抽出廃液、硝酸プルトニウム溶液及び高レベル廃液（以下、「高レベル廃液等」という。）を内包する貯槽及び缶（以下、「貯槽等」という。）は、崩壊熱を有するため、通常運転時には安全冷却水系により冷却を行い、高レベル廃液等の沸騰を防止している。

安全冷却水系は、貯槽等に内包する高レベル廃液等の崩壊熱を除去する内部ループ及び内部ループによって除かれた熱を外部ループに伝える熱交換器、外部ループに移行した熱を大気中へ逃がす最終ヒートシンクの冷却塔で構成される。

貯槽等、貯槽等を収納するセル及びセルを取り囲む建屋は、それぞれ塔槽類廃ガス処理設備、建屋換気設備のセルからの排気系（以下、「セル排気系」という。）、建屋換気設備の建屋排気系（以下、「建屋排気系」という。）により換気され、貯槽等、セル、建屋の順に圧力が低くなるように設計されている。

安全冷却系の冷却機能が喪失した場合には、高レベル廃液等の温度が崩壊熱により上昇し、沸騰に至った場合には、液相中の気泡が液面で消失する際に発生する飛まつが放射性エアロゾルとして蒸気と共に気相中に移行することで、大気中へ放出される放射性物質の量が増大する。

さらに、ルテニウムを内包する高レベル濃縮廃液については、沸騰の継続により硝酸濃度が約6規定以上でかつ温度が120℃以上に至った場合に、ルテニウムが揮発性の化学形態となり、気相中に移行する。さらに、高レベル廃液等の沸騰が継続した場合には、乾燥・固化に至る。

冷却機能の喪失による蒸発乾固は、5建屋13機器グループ、合計53の貯槽等で発生する。

2. 対処の基本方針

高レベル廃液等の沸騰を未然に防止するため、喪失した冷却機能を代替する設備により、沸騰に至る前に高レベル廃液等の冷却を実施する。以下、この対策を発生防止対策という。

発生防止対策が機能せず、高レベル廃液等が沸騰に至った場合には、事故の特徴に記載したとおり、気相へ移行する放射性物質の量が増大する可能性がある。

沸騰が継続した場合には、ルテニウムを内包する高レベル濃縮廃液において揮発性のルテニウムが発生する可能性があり、さらに、沸騰が継続することで乾燥・固化に至ることから、これらを防止するため、貯槽等内に注水する。

さらに、事態を収束させるため、発生防止対策とは異なる位置から貯槽等の冷却コイル又は冷却ジャケット（以下、「冷却コイル等」という。）へ通水することにより、高レベル廃液等を冷却し、未沸騰状態に導くとともにこれを維持する。以下、これらの対策を拡大防止対策という。

高レベル廃液等が沸騰に至ると、蒸気の影響により塔槽類廃ガス処理設備の高性能粒子フィルタの処理能力が低下する可能性があることから、気相中に移行した放射性物質の大気中への放出を防止するため塔槽類廃ガス処理設備の流路を遮断し、気相中に移行した放射性物質をセルに導出する。この際、セル内の圧力上昇を抑制するため、貯槽等内で発生した蒸気を凝縮器で凝縮させると共に、放射性物質の低減のため、凝縮器の下流側に設置する高性能粒子フィルタを経由してセルに導出する。

さらに、セル排気系を代替する排気系により放射性物質を低減した上で、主排気筒から大気中に放出する。

3. 具体的対策

3.1 発生防止対策

安全冷却系の冷却機能が喪失した場合には、可搬型中型移送ポンプ、可搬型建屋外ホース、可搬型排水受槽、可搬型建屋内ホース、弁等を敷設し、内部ループに水を供給するために可搬型建屋外ホース及び可搬型中型移送ポンプを接続し、貯水槽から建屋へ水を供給するための経路を構築する。また、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース及び内部ループの給水口を接続することで、建屋へ供給された水を内部ループへ供給するための経路を構築する。

冷却に使用した排水を貯水槽へ移送するため、内部ループの排水口及び可搬型建屋内ホースを接続し、建屋近傍に設置した可搬型排水受槽への排水経路を構築する。また、可搬型排水受槽、可搬型建屋外ホース及び可搬型中型移送ポンプを接続し、可搬型排水受槽から貯水槽への排水経路を構築する。

給水側の可搬型中型移送ポンプを運転することで、貯水槽から内部ループへ通水する。冷却に用いた水は可搬型排水受槽に一旦貯留した後、排水側の可搬型中型移送ポンプを運転することで、敷設した排水経路を經由して貯水槽に排水し、再び内部ループへの通水の水源として用いる。

このため、可搬型建屋外ホース、可搬型中型移送ポンプ、可搬型建屋内ホース、弁等及び可搬型排水受槽を可搬型重大事故対処設備として新たに整備する。貯水槽を常設重大事故等対処設備として新たに設置すると共に、内部ループを常設重大事故等対処設備として位置づける。

3.2 拡大防止対策

発生防止対策が機能しなかった場合に備え、発生防止対策で敷設する可搬型中型移送ポンプの下流側に貯槽等内に注水するための可搬型建屋内ホース、弁等を施設し、可搬型建屋内ホースと機器注水配管の接続口を接続する。

高レベル廃液等が沸騰に至った場合には、液位低下及びこれによる濃縮の進行を防止するため、液位を一定範囲に維持するよう、貯水槽の水を貯槽等内へ注水する。

また、事態を収束させるため、発生防止対策で敷設する可搬型中型移送ポンプの下流側に冷却コイル等への通水のための可搬型建屋内ホース、弁等を敷設し、可搬型建屋内ホースと各貯槽等の冷却コイル等の接続口を接続した後、貯水槽の水を冷却コイル等へ通水する。貯槽等内の高レベル廃液等の冷却に用いた水は、内部ループへの通水と同じように排水経路を経由して貯水槽に排水し、再び冷却コイル等への通水の水源として用いる。

また、高レベル廃液等が沸騰に至る場合に備え、塔槽類廃ガス処理設備の隔離弁を閉止することで、塔槽類廃ガス処理設備の流路を遮断し、貯槽等からの排気をセルに導出するための常設の排気経路に設置する弁を開く。本対応と並行して、当該排気経路に設置した凝縮器へ水を供給するため、発生防止対策で敷設する可搬型中型移送ポンプの下流側に凝縮器へ通水するための可搬型建屋内ホース、弁等を敷設し、可搬型建屋内ホース及び凝縮器の接続口を接続し、貯水槽の水を凝縮器に通水する。高レベル廃液等が沸騰に至った場合には、排気をセルに導出する前に、排気経路上の凝縮器により排気中の蒸気を凝縮させると共に、凝縮器下流側に設置した高性能粒子フィルタにより放射性物質を除去する。

凝縮器の冷却に用いた水は、内部ループへの通水と同じように排水経

路を經由して貯水槽に排水し、再び凝縮器への通水の水源として用いる。

なお、凝縮器下流側に設置した高性能粒子フィルタの差圧が、凝縮器通過後の排気の湿分により上昇する場合には、高性能粒子フィルタをバイパスしてセルに導出する。

貯槽等内においては、放射線分解により常に水素が発生しているため、本重大事故が発生した場合においても継続して水素掃気を実施する必要がある。一方、本重大事故時には、塔槽類廃ガス処理設備の流路を遮断し、貯槽等からの排気をセルに導出する。この際、セル排気系の排風機が機能喪失している場合、導出先セルの圧力が上昇し、排気系統以外の場所から放射性物質を含む気体の漏えいが生じる可能性があるが、高レベル廃液等が沸騰に至る前であれば、排気に含まれる放射性物質の濃度は平常運転時と同程度であり、セルへ導出する前に高性能粒子フィルタで除去する。

また、前処理建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の貯槽等については、気相部の体積が大きく、水素濃度の上昇が緩やかであることから、導出先のセル圧力上昇を抑制するため水素掃気用の圧縮空気の供給を停止し、セル内の圧力上昇を防止する。

セルへの放射性物質の導出後においては、セル排気系の高性能粒子フィルタは一段であることから、セル排気系を代替する排気系（以下、「代替排気系」という。）として、可搬型排風機、可搬型発電機、可搬型ダクト、可搬型フィルタを2段敷設し、主排気筒へつながるよう、可搬型排風機、可搬型ダクト及び可搬型フィルタを接続し、可搬型ダクト及びセル排気系を接続した後、可搬型排風機を運転することで、放射性エアロゾルを可搬型フィルタの高性能粒子フィルタで除去しつつ主排気筒から大気中に放出する。

このため、可搬型建屋外ホース、可搬型中型移送ポンプ、可搬型建屋

内ホース，弁等，可搬型排水受槽，可搬型排風機，可搬型発電機，可搬型ダクト，可搬型フィルタを可搬型重大事故対処設備として新たに整備する。貯水槽，セルに導出する経路，凝縮器，凝縮下流の高性能粒子フィルタを常設重大事故等対処設備として新たに設置すると共に，貯槽等の冷却コイル，冷却ジャケット，建屋換気設備のダクト，主排気筒等を常設重大事故対処設備として位置づける。

4. 有効性評価

4.1 代表事例

冷却機能が喪失する範囲及び環境条件を踏まえた対処内容を考慮し、外的事象の「地震」を代表事象として選定する。

4.2 代表事例の選定理由

冷却機能の喪失による蒸発乾固は、外的事象の「地震」において、冷却水循環ポンプ、冷却塔等の動的機器の直接的な機能喪失及び全交流動力電源喪失による間接的な機能喪失により、冷却機能が喪失することで発生する。

また、外的事象の「火山」又は内的事象の「長時間の全交流動力電源喪失」において、動的機器の間接的な機能喪失により冷却機能が喪失し、内的事象の「動的機能の多重故障」において、一部の動的機器の直接的な機能喪失により冷却機能が喪失することで発生する。

外的事象の「地震」により発生する冷却機能の喪失の場合、動的機器の機能喪失及び全交流動力電源喪失が同時に発生する等、喪失する機器が多く、その範囲も広い。

また、外的事象の「地震」は環境条件の悪化も想定されることから、重大事故等対策としては厳しくなる。さらに、外的事象は「地震」及び「火山」が考えられるが、「地震」の方が環境条件が厳しくなることから、有効性評価の代表としては「地震」による冷却機能の喪失を選定する。

4.3 有効性評価の考え方

発生防止対策に係る有効性は、高レベル廃液等の沸騰が未然に防止できるかについて確認するために、高レベル廃液等の温度上昇の推移を評価

する。

拡大防止対策に係る有効性は、発生防止対策が有効に機能せず高レベル廃液等が沸騰に至った場合に、貯槽等の液位を一定の範囲に維持でき、また、冷却コイル等への通水により、高レベル廃液等の温度が安定して低下傾向になるかについて確認するため、高レベル廃液等の温度及び液位の推移を評価する。

また、貯槽等からの排気をセルに導出する場合、凝縮器の機能が継続的に維持できるかを確認するため、凝縮器で発生する凝縮水量が回収先のセルの漏えい受け皿等の容量を下回ることを確認する。

さらに、放射性物質の放出量評価として、拡大防止対策の実施状況を踏まえて、貯槽等から気相に移行する放射性物質の量、放出経路における低減割合を考慮し、事態収束までの大気中へ放出する放射性物質の放出量（Cs-137換算）を評価する。

これらの評価における高レベル廃液等の温度、発熱量については、水の定圧比熱等を用いた簡便な計算で実施する。

4.4 機能喪失の条件

代表事例において、基準地震動の1.2倍の地震動を入力した場合においても必要な機能を損なわない設計としていないものは、機能喪失するものとし、動的機器については耐震性によらず機能喪失を想定する。

また、代表事例では、外部電源を含めた全交流動力電源の喪失を想定しているため、追加での機能喪失は想定しない。

4.5 機器の条件

可搬型中型移送ポンプは1台あたり $240\text{m}^3/\text{h}$ の容量を有し、内部ル

ープへの通水，貯槽等への注水，冷却コイル等への通水及び凝縮器への通水に用いるものとし，前処理建屋で1台，分離建屋，精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で1台，高レベル廃液ガラス固化建屋で1台を使用する。

各貯槽等への供給流量は，内包する高レベル廃液等の崩壊熱を踏まえて，設定した値に調整して，当該設定値以上で通水する。

高レベル廃液等の核種組成，濃度，崩壊熱密度は，再処理する使用済燃料の冷却期間を15年とし，これを基に算出される放射性物質の核種組成を基準に，濃度及び崩壊熱密度の最大値を設定する。

貯槽等の高レベル廃液等の保有量は，公称容量とする。高レベル廃液等の温度評価にあたっては，セルへの放熱を考慮せず，貯槽等の熱容量を考慮し断熱として評価する。

4.6 操作の条件

内部ループへの通水は，準備が整い次第実施するものとして，沸騰までの時間が最も短い精製建屋において，沸騰に至るまでの時間である11時間に対して8時間50分で内部ループへの通水を開始する。

セルへの導出経路への切替操作は，沸騰までの時間が最も短い精製建屋において，沸騰に至るまでの時間である11時間に対して2時間25分で完了する。

前処理建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋における水素掃気用の圧縮空気の停止操作は45分後に完了する。

貯槽等の液位を監視しつつ，高レベル廃液等の液量が初期液量の70%に減少する前までに貯槽等への直接注水を開始する。また凝縮器への通水は，準備が完了次第実施し，沸騰までの時間が最も短い精製建屋において，

沸騰に至るまでの時間である11時間に対して8時間30分で凝縮器への通水を開始する。

冷却コイル等への通水は、準備が完了次第、開始するものとしており、沸騰の継続時間が最も長くなる精製建屋において、30時間40分で通水を開始する。

代替排気系による排気は、準備が完了次第実施し、沸騰までの時間が最も短い精製建屋において、沸騰に至るまでの時間である11時間に対して6時間40分で開始する。

4.7 放出量評価の条件

高レベル廃液等の放射性物質の組成、濃度、崩壊熱密度及び貯槽等の液量は機器条件と同様である。

気相への移行割合については、蒸発乾固を模擬した気相移行量の測定の実験結果を参考に、沸騰開始から乾固までの移行割合を 5×10^{-5} に設定し、沸騰継続時間を貯槽等の高レベル廃液等の保有量と崩壊熱密度から高レベル廃液等の潜熱を考慮して算出する。

放出経路における放射性物質の低減割合については、高性能粒子フィルタ2段による除染係数を 10^5 、放出経路構造物への沈着による除染係数を10、凝縮器の除染係数を10とする。なお、凝縮器下流に設置する高性能フィルタの除染係数については、蒸気によって劣化する可能性があるため、評価上考慮しない。

また、継続して実施される水素掃気空気の供給により生じる放出経路以外の経路からの放出に対しては、放出経路での除染係数を見込むとともに、放出経路の空間における希釈効果を考慮して評価する。

放射性物質の放出量（ $Cs-137$ 換算）については、IAEAに示され

る換算係数を用いて着目する核種の比から算出する。ただし、プルトニウム等の一部の核種については、それに加えて化学形態による影響の違いを補正する係数を乗じる。

4.8 判断基準

発生防止対策については、高レベル廃液等が沸騰に至らず低下傾向を示すこと。

拡大防止対策については、高レベル廃液等が沸騰に至った場合に、液位を一定範囲に維持でき、冷却コイル等への通水により高レベル廃液等が沸騰しない状態を継続して維持できること。

また、事態の収束までに発生する凝縮水の発生量が凝縮水の回収先セルの漏えい液受皿等の容量を下回ること。

放出量評価は、拡大防止対策としての冷却コイル等への通水による事態の収束までの大気中への放射性物質の放出量が、 $Cs-137$ 換算で 100TBq を下回るものであって、かつ、実行可能な限り低いこと。

5. 有効性評価の結果

5.1 発生防止対策

安全冷却水系の冷却機能の喪失により高レベル廃液等の温度が上昇し始め、沸騰に至るまでの時間の短い機器グループから優先的に内部ループへの通水を開始する。その結果、全ての機器グループにおいて沸騰に至る時間に対して2時間以上の余裕をもって低下傾向を示す。

5.2 拡大防止対策

発生防止対策が機能しなかった場合、高レベル廃液等は沸騰に至り液位が低下するが、液位を監視しつつ貯槽等への注水を適時実施することにより、液量は貯槽等の事故発生直前の初期液量の70%を下回ることなく維持でき、液量を一定範囲に維持できる。また、ルテニウムを含む貯槽等において溶液の温度を120℃未満に維持でき、揮発性のルテニウムが生成することはない。

さらに、貯槽等への注水により液量及び温度を一定範囲に維持しつつ、冷却コイル等への通水を開始した以降は、高レベル廃液等の温度は沸点未満となり、低下傾向を示し、沸騰しない状態を継続して維持できる。また、事態の収束までに発生する凝縮水の量は、漏えい液受け皿等の容量に対して最も厳しくなる精製建屋において約3 m³であり、凝縮水の発生量は回収先セルの漏えい液受け皿等の容量を十分下回る。

セル導出経路の系統構成、凝縮器への通水、代替排気系による排気等により、事態の収束までに大気中へ放出される放射性物質の量（セシウム-137換算）は、前処理建屋において 2×10^{-10} TBq、分離建屋において、 6×10^{-7} TBq、精製建屋において、 5×10^{-6} TBq、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において、 3×10^{-7} TBq及び高レベル廃液ガラス

固化建屋において、 5×10^{-6} T B q であり、これらを合わせても約 1×10^{-5} T B q であり、100 T B q を下回るものであって、かつ、実行可能な限り低い。

なお、継続して実施される水素掃気空気の供給により、導出先セルの圧力が上昇し、排気系統以外の場所から放射性物質を含む気体の漏えいのおそれがある。

その時間は、最も長い分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で約3時間程度であり、大気中への放出に至る建屋内の移行経路を踏まればその影響はわずかであるが、上記の放出量はこの寄与分も含めた結果である。

5.3 不確かさの影響評価

5.3.1 事象、事故条件及び機器条件の不確かさの影響

内的事象で発生する「動的機器の多重故障」による冷却機能喪失の場合、対処が必要な設備、建屋の範囲が限定される。当該評価では、代表事例において、各建屋で並行して作業した場合の対策の成立性を確認していることから、評価結果は変わらない。

内的事象で発生する「長時間の全交流動力電源の喪失」及び外的事象の「火山」による冷却機能喪失の場合、初動対応での状況確認やアクセスルート確保等の作業において、外的事象の「地震」と比較して早い段階で重大事故等対策に着手できるため、対処の時間余裕が大きくなることから、判断基準を満足することには変わりはない。

高レベル廃液等の組成、濃度及び崩壊熱密度は、想定される最大値を設定しており、高レベル廃液等の温度評価では、セル雰囲気への放熱を考慮しない等、厳しい結果を与える条件で評価をしており、安全余裕を排除

したより現実的な条件とした場合には対処の時間余裕が大きくなることから、判断基準を満足することに変わりはない。なお、貯槽等からセル雰囲気への放熱の効果は、貯槽等に内包される高レベル廃液等の崩壊熱及び貯槽等の表面積に依存し、崩壊熱の量に対して放熱に寄与する貯槽等の面積の大きい溶解液、抽出廃液及びプルトニウム溶液において30%を超え、放熱の効果を見込んだ場合には、これらの溶液を内包する貯槽等においてより時間余裕が増えることとなるが、これらの貯槽等は元から時間余裕の大きい貯槽等であり、各貯槽等での沸騰に至るまでの時間が逆転することはないため、本重大事故の対処の作業の優先順位に与える影響はない。

事態の収束までの大気中への放射性物質の放出量（Cs-137換算）については、気相中に移行する放射性物質の移行割合や放出経路における放射性物質の除染係数に不確かさがある。非安全側な影響として、仮に移行した放射性物質に気体状の放射性物質が含まれていた場合や放射性物質の移行率に変動があった場合、放出量が1桁程度増加する可能性がある。一方、安全側な影響として、放出量評価に用いた高レベル廃液等の核種組成や経路上での除染係数を評価が厳しくなるよう設定しており、放出量が小さくなることも想定される。このように不確かさを有するものの、これらを考慮した場合でも判断基準を満足することに変わりはない。

5.3.2 操作条件の不確かさの影響

貯槽等への注水、凝縮器への通水等の準備は、安全冷却水系の冷却機能の喪失をもって着手し、高レベル廃液等が沸騰に至るまでの時間に対し時間余裕をもって完了させる。また、各作業の作業項目は、余裕を確保して計画し、必要な時期までに操作できるよう体制を整えていることから判断基準を満足していることに変わりはない。

6. 同時発生又は連鎖

6.1 重大事故等の事象進展，事故規模の分析

本重大事故の事象進展，事故規模の分析により明らかとなった平常運転時からの状態の変化等は，高レベル廃液等が沸騰することによる高レベル廃液等の温度上昇，液位低下による高レベル廃液等の放射性物質の濃度の上昇及び高レベル廃液等の硝酸濃度の上昇，貯槽等への注水による高レベル廃液等の硝酸濃度の低下，貯槽等の圧力上昇，蒸気の発生によるセル導出経路内や導出先セル内等の湿度の上昇，放射線量の上昇である。具体的には，高レベル廃液等の温度の上昇については，通常時は未沸騰状態であるが，事故時には沸騰状態となり，最高で120℃程度（高レベル濃縮廃液の場合は110℃程度），凝縮器下流のセル導出経路内や導出先セル内等では廃ガスの温度は50℃程度となる。貯槽等の液量は，貯槽等への注水により最低でも，初期液量の70%に維持され，その際のプルトニウム濃度は約360 g Pu/Lとなる。高レベル廃液等の硝酸濃度は，最大でもプルトニウム濃縮液（250 g Pu/L）の約9規定であり，高レベル濃縮廃液の場合，約3規定である。また，冷却コイル等への通水が実施される時間が初期液量の70%に至るまでの時間より長いプルトニウム濃縮液（250 g Pu/L）は，貯槽等への注水により希釈され，希釈後のプルトニウム濃縮液（250 g Pu/L）の硝酸濃度は，約5規定となる。これに伴い，プルトニウム濃縮液（250 g Pu/L）の水素発生G値が平常時の1.3倍程度となる。さらに，高レベル廃液等の沸騰に伴い，見かけ上G値が上昇し，水素の発生量は平常時の数倍程度となる。貯槽等の圧力上昇については，事故時においても平常時と変わらない。セル導出経路内や導出先セル内等の湿度の上昇については，発生する蒸気により多湿環境となる。放射線量の上昇については，沸騰に至った場合には，放射性物質が蒸気と共に気相に

移行するため貯槽等外の放射線量は上昇するが、貯槽等内の放射線量は沸騰が生じても変わらない。

これらの平常運転時からの状態の変化等を考慮した同時発生する重大事故等の重大事故等対策に与える影響及び連鎖して発生する可能性のある重大事故等は以下のとおりである。

6.2 重大事故等の同時発生

重大事故等が同時に発生する場合については、同種の重大事故が同時に発生する場合、異種の重大事故が同時に発生する場合及びそれらの重畳が考えられる。

本重大事故は、本重大事故を想定する貯槽等にあるとおり、5建屋13機器グループ53貯槽等で同時に発生する可能性があり、本評価は同時発生するものとして評価した。

本重大事故と同時発生する可能性のある異種の重大事故は、「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定（要旨）」に示すとおり、外的事象の「地震」及び「火山」、内的事象の「長時間の全交流動力電源の喪失」により、安全冷却水系、安全圧縮空気系、プール水冷却系及び補給水設備が同時に機能を喪失することから、放射線分解により発生する水素による爆発及び使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷である。

各重大事故等の重大事故等対策は互いに異なる対策であり、各重大事故等対策が競合することはない。また、重大事故等対策に使用する設備も重大事故等ごとに専用の設備を整備することから、設備が競合することはない。

以上より、各重大事故等対策の有効性評価は、重大事故等が同時発生

した場合であっても個別に評価することが可能であるが、各重大事故等が発生した場合の事故影響が相互に与える影響を考慮する必要がある。

放射線分解により発生する水素による爆発の事故影響が本重大事故の重大事故等対策に与える影響は、水素爆発に伴い生じるエネルギーによる影響を考慮する必要があるが、そのエネルギーは数十MJ程度であり、水素爆発により生じたエネルギーが全て溶液に付加されることを仮定したとしても溶液の温度上昇は1℃未満であり、実際の放熱による除熱効果を考慮すればその影響は無視できる程度である。以上より、重大事故等が同時発生した場合であっても、本重大事故の重大事故等対策の有効性評価結果は単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、重大事故等対策が阻害されることはない。

一方、本重大事故の事故影響が放射線分解により発生する水素による爆発の重大事故等対策に与える影響は、「6.1 重大事故等の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり、高レベル廃液等の硝酸濃度変動及び沸騰状態への移行による水素発生量の増加である。

放射線分解により発生する水素による爆発の重大事故等対策の有効性評価では水素発生量の増加の影響を考慮する必要があるが、「2.4 放射線分解により発生する水素による爆発への対処（要旨）」に記載している重大事故等対策に使用する可搬型空気圧縮機等の機器条件は、高レベル廃液等の沸騰及び気泡発生による水素発生量の増加を見込んで設定された条件であり、重大事故等が同時発生した場合であっても貯槽等内の水素濃度は未然防止濃度に至ることは無く、その後は、低下傾向を示し、可燃限界濃度未満に移行し、その状態が維持されることには変わりはない。以上より、重大事故等が同時発生した場合であっても、放射線分解により発生する水素による爆発の重大事故等対策の有効性評価結果は単独で重大事故等が発

生した場合と同じであり、重大事故等対策が阻害されることはない。

本重大事故及び使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷の相互影響については、本重大事故が発生する貯槽等と使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設は異なる建屋に位置しており、互いの事故影響が当該バウンダリを超えて波及することはないことから、これらの重大事故等対策の有効性評価結果は、単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、各々の重大事故等対策が阻害されることはない。

同種と異種の重大事故の同時発生が重畳した場合の大気中への放射性物質の放出量については、「2.7 重大事故が同時に又は連鎖して発生した場合の対処（要旨）」において評価し、対処に必要な要員及び燃料等については、「2.8 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において評価している。

6.3 重大事故等の連鎖

臨界事故への連鎖については、高レベル廃液等の沸騰が発生する貯槽等において講じられている臨界事故に係る安全機能は、全濃度安全形状寸法管理及び濃度管理であるが、沸騰時の温度、圧力、沸騰の継続による液位の低下に伴う核燃料物質の濃度の上昇、その他のパラメータ変動を考慮しても、核的制限値を逸脱することはないため、臨界事故は生じない。

放射線分解により発生する水素による爆発への連鎖については、高レベル廃液等が沸騰に至った場合には、高レベル廃液等の見かけ上G値が上昇し、水素の発生量が通常時の数倍程度となるものの、水素掃気量は発生水素量に対して十分な余力を有しており、貯槽等内の水素濃度はドライ換算で、ドライ換算8 v o 1 %に至ることはない。また、プルトニウム濃縮液（250 g P u / L）は、貯槽等への注水により希釈され、硝酸濃度が平

常時より低下するが，硝酸濃度の変動が水素発生G値に与える影響は小さい。以上より，放射線分解により発生する水素による爆発は生じない。

T B P等の錯体の急激な分解反応への連鎖については，分離建屋一時貯留処理設備の第1一時貯留処理槽，第6一時貯留処理槽，第7一時貯留処理槽及び第8一時貯留処理槽，精製建屋一時貯留処理設備の第1一時貯留処理槽，第2一時貯留処理槽及び第3一時貯留処理槽において，有意量のT B P等を受入れる場合があるが，通常状態で受入れる可能性のある溶液の混合を考慮しても，総崩壊熱は最大でも1 kW程度であり，溶液の濃縮又は温度上昇が想定されず，T B P等の錯体の急激な分解反応の発生は考えられない。

上記以外の貯槽等においては，分離設備のT B P洗浄塔及びT B P洗浄器並びにプルトニウム精製設備のT B P洗浄器において，希釈材により除去され，溶媒再生系（分離・分配系）及び溶媒再生系（プルトニウム精製系）の第1洗浄器，第2洗浄器及び第3洗浄器において，炭酸ナトリウム溶液等により洗浄及び再生されることから，高レベル廃液等の沸騰が発生する貯槽等には，有意なT B P等を含む使用済みの有機溶媒が含まれることはない。また，事故時においても，沸騰が発生する貯槽等に接続する機器注水配管，冷却コイル等で構成されるバウンダリは，健全性を維持することから，T B P等があやまって混入することもないため，T B P等の錯体の急激な分解反応の発生は考えられない。

有機溶媒火災については，分離建屋一時貯留処理設備の第1一時貯留処理槽，第6一時貯留処理槽，第7一時貯留処理槽及び第8一時貯留処理槽，精製建屋一時貯留処理設備の第1一時貯留処理槽，第2一時貯留処理槽及び第3一時貯留処理槽において，有意量の有機溶媒を受入れる場合があるが，通常状態で受入れる可能性のある溶液の混合を考慮しても，総崩

壊熱は最大でも 1 kW 程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されず、有機溶媒火災の発生は考えられない。

上記以外の貯槽等においては、溶媒再生系（分離・分配系）及び（プルトニウム精製系）の第 1 洗浄器、第 2 洗浄器及び第 3 洗浄器において、炭酸ナトリウム溶液等により洗浄及び再生されることから、高レベル廃液等の沸騰が発生する貯槽等には、有意な使用済みの有機溶媒が含まれることはない。また、事故時においても、沸騰が発生する貯槽等に接続する機器注水配管、冷却コイル等で構成されるバウンダリは、健全性を維持することから、有機溶媒があやまって混入することもないため、有機溶媒火災の発生は考えられない。

使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷への連鎖については、高レベル廃液等の沸騰が発生する貯槽等と使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設は異なる建屋に位置していることから、高レベル廃液等の沸騰による事故影響は、当該バウンダリを超えて波及することはないことから、使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷の発生は考えられない。

放射性物質の漏えいへの連鎖については、沸騰が発生する貯槽等、これに接続する機器注水配管、冷却コイル等、塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニット及び凝縮器並びにその他の安全機能を有する機器で構成されるバウンダリは、通常時からの状態の変化等を踏まえても、健全性を維持することから、放射性物質の漏えいの発生は考えられない。

7. 必要な要員及び資源

外的事象の「地震」及び「火山」を要因として冷却機能の喪失が発生した場合には、「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定（要旨）」に示すとおり、「放射線分解により発生する水素による爆発」及び「使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷」に対しても同時に対処することとなる。このため、重大事故等対処に必要な要員及び燃料等の成立性については、それぞれの対処に必要な数量を重ね合わせて評価する必要があり、「2.8 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において評価している。

7.1 要員

本重大事故における発生防止対策及び拡大防止対策に必要な要員は、冷却機能の喪失を受けて、各建屋で並行して対応することとなっており、外的事象の「地震」を要因とした場合、全建屋の合計で128名である。なお、外的事象の「火山」を要因とした場合には、降灰予報を受けて建屋外での可搬型建屋外ホースの敷設等の準備作業に入ることから、建屋外の作業に要する要員数が外的事象の「地震」を要因とした場合を上回ることはなく、外的事象の「地震」を要因とした場合と同じ人数で対応できる。

また、内的事象を要因とした場合は、作業環境が外的事象の「地震」を要因とした場合に想定される環境条件より悪化することが想定されず、対処内容にも違いがないことから、必要な要員は外的事象の「地震」を要因とした場合の必要な人数以下である。

事業所内に常駐している実施組織要員は164名であり、必要な作業対応が可能である。

7.2 水源

貯槽等への注水に必要な水量は、貯槽等への注水を7日間継続した場合、合計で約310m³である。水源として、第1貯水槽の一區画に約10,000m³の水を保有しており、これにより、必要な水源は確保可能である。また内部ループへの通水、凝縮器への通水及び冷却コイル等への通水は、水源である貯水槽へ排水経路を構成して循環させることから、基本的に水量に変化はなく、継続が可能である。なお、冷却コイル等への通水が完了するまでの貯槽等からの蒸発量は、全建屋の合計で約26m³となる。また、すべての建屋の高レベル廃液等の総崩壊熱量が1つの貯水槽に負荷された場合の1日あたりの貯水槽の温度上昇は、安全側に断熱で評価した場合においても3℃程度であり、貯水槽を最終ヒートシンクとして考慮することに問題はない。

7.3 電源

電動の可搬型排風機への給電は、可搬型排風機の起動及び運転に必要な容量を有する可搬型発電機を敷設するため、対応が可能である。

7.4 燃料

全ての建屋の冷却機能の喪失による蒸発乾固の発生防止対策及び拡大防止対策を7日間継続して実施するのに必要な軽油は合計で約63m³である。

軽油貯蔵タンクにて約400m³の軽油を確保していることから、外部支援を考慮しなくとも7日間の対処の継続が可能である。

水素爆発の有効性評価 要旨

1. 事故の特徴

重大事故の水素爆発の発生が想定される水素掃気が必要な溶解液，抽出廃液，硝酸プルトニウム溶液，プルトニウム濃縮液及び高レベル廃液（以下，「高レベル廃液等」という。）を内包する貯槽，及び缶（以下，「貯槽等」という。）は，高レベル廃液等の放射線分解により水素が発生するため，通常運転時には安全圧縮空気系により圧縮空気を供給することで水素掃気を行い，貯槽等内における水素爆発を防止している。

貯槽等，貯槽等を収納するセル及びセルを取り囲む建屋は，それぞれ塔槽類廃ガス処理設備，建屋換気設備のセルからの排気系（以下，「セル排気系」という。） ， 建屋換気設備の建屋排気系（以下，「建屋排気系」という。）により換気され，建屋，セル，貯槽等の順に圧力が低くなるように設計されている。

安全圧縮空気系の掃気機能が喪失した場合には，水素爆発の発生を想定する貯槽等の気相部の水素濃度が上昇し，水素濃度に応じて燃焼，爆燃又は爆轟が発生するおそれがある。この際の圧力変動による飛沫に放射性物質が同伴して気相に放射性エアロゾルとして移行することで大気中への放射性物質の放出量が増大する。また，爆発の規模によっては，貯槽等や附属する配管等の破損が生じ，内包する放射性物質の漏えいに至るおそれがある。

水素濃度と発生圧力の特徴として，以下の3つにまとめられる。

1つ目は，水素濃度がドライ換算で4 v o 1 %から8 v o 1 %の空気混合気が着火した場合であり，水素燃焼という。燃焼に伴う火炎が上方または水平方向に伝播する部分燃焼が支配的であり，この際に発生する圧力は小さい。そのためエアロゾル状の放射性物質の気相への移行量は少なく排気系で除去できる。

2つ目は、水素濃度がドライ換算で8 v o 1 %から12 v o 1 %の空気混合気が着火し、水素爆発が発生した場合、火炎が上方または水平方向のみならず、全方向に伝播し、爆燃するようになり、この際に発生する圧力は初期圧力の2倍以上となる可能性がある。そのため、エアロゾル状の放射性物質の気相部への移行量は大きくなる。

3つ目は、水素濃度がドライ換算で12 v o 1 %を超えると、条件によっては爆燃から爆轟へ遷移が生じ、火炎の伝播速度が音速を超えて衝撃波が発生する。爆轟が生じた場合には、エアロゾル状の放射性物質が大量に気相部への移行することのみならず、衝撃波による貯槽、配管、その他機器等の損傷や波及的な影響も考えられる。

水素爆発の発生防止としては放射性物質の放出の観点で爆轟を生じさせないこと、再処理施設内における爆燃から爆轟へ遷移に関する知見が少ないこと、排気系統が爆燃から爆轟へ遷移を発生しやすい形状であることを踏まえると、爆燃する領域である水素濃度がドライ換算8 v o 1 %から12 v o 1 %に対して、この下限値であるドライ換算8 v o 1 %に抑えるということが重要である。

水素掃気機能の喪失による水素爆発は、5建屋5機器グループ、合計49貯槽等で発生する。

2. 対処の基本方針

水素爆発の発生を未然に防止するため、喪失した水素掃気機能を代替する設備により、重大事故の水素爆発を想定する貯槽等の水素濃度が水素燃焼時においても貯槽等に影響を与えない8 v o l %（以下、「未然防止濃度」という。）に至る前に圧縮空気を供給し、水素濃度を可燃限界濃度未満とし、これを維持する。以下、この対策を発生防止対策という。

発生防止対策が機能しない場合、発生防止対策とは別の系統から重大事故の水素爆発を想定する貯槽等へ圧縮空気を供給し、水素濃度を可燃限界濃度未満とし、これを維持する。以下、この対策を拡大防止対策という。

発生防止対策及び拡大防止対策の実施にあたっては、水素発生量の不確かさ及び作業遅れを考慮し、未然防止濃度未満に維持できる十分な量の圧縮空気を供給できる対策を整備すると共に、事態の収束のために可燃限界濃度未満に維持できる対策を整備する。

また、水素爆発が発生すると、この際の圧力変動によって発生する飛沫に放射性物質が同伴して気相にエアロゾル状の放射性物質として移行する。これに伴い、大気中への放射性物質の放出量が増大するため、塔槽類廃ガス処理設備の流路を遮断し、気相中へ移行した放射性物質をセルに導出する。この際、放射性物質の低減のため、高性能粒子フィルタを経由してセルに導出する。

さらに、セル排気系を代替する排気系により、放射性物質を低減した上で、主排気筒から大気中に放出する。

3. 具体的対策

3.1 発生防止対策

発生防止対策として、圧縮空気設備の安全圧縮空気系の水素掃気機能が喪失した場合、可搬型空気圧縮機、可搬型一括供給用建屋外ホース、可搬型一括供給用建屋内ホース、可搬型個別供給用建屋外ホース、可搬型個別供給用建屋内ホース、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース及び圧縮空気供給系を水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管（除染用配管等）に接続し、圧縮空気の供給による水素掃気を実施する。

可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある機器においては、貯槽等内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持するため、分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に設置する常設の圧縮空気自動供給系から圧縮空気を自動供給する。未沸騰状態においては、圧縮空気自動供給系の圧縮空気自動供給槽、圧縮空気自動供給ユニットから未然防止濃度に維持するために十分な量の圧縮空気を供給する。その後、分離建屋において沸騰の10時間40分前である事象発生後から4時間25分後に、精製建屋において沸騰の9時間10分前である事象発生後から2時間20分後に、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において沸騰の12時間25分前である事象発生後から6時間40分後に、圧縮空気の供給源を機器圧縮空気自動供給ユニットに切り替えることで、水素発生量の不確かさを考慮しても未然防止濃度に維持するために十分な量の圧縮空気を供給する。

可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給は、設計掃気量相当とし、水素濃度の増加を見込んでも、貯槽等内の水素濃度を可燃限界濃度未満に維持する。

また、水素濃度の推移を把握するために、可搬型水素濃度計を用いて水

素濃度を所定の頻度（90分）で確認すると共に、変動が想定される期間において、余裕をもって変動程度を確認する。また、対策の効果を確認するため、対策実施前後に水素濃度の測定を行う。

このため、可搬型空気圧縮機、可搬型一括供給用建屋外ホース、可搬型一括供給用建屋内ホース、可搬型個別供給用建屋外ホース、可搬型個別供給用建屋内ホース、可搬型建屋外ホース及び可搬型建屋内ホースを可搬型重大事故対処設備として新たに整備する。圧縮空気自動供給貯槽、圧縮空気自動供給ユニット、機器圧縮空気自動供給ユニット及び圧縮空気供給系を常設重大事故等対処設備として新たに設置すると共に、水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管を常設重大事故対処設備として位置づける。

3.2 拡大防止対策

拡大防止対策として、発生防止対策である水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管（除染用配管等）からの圧縮空気の供給が機能しなかった場合、可搬型空気圧縮機、可搬型個別供給用建屋外ホース、可搬型個別供給用建屋内ホース、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース及び圧縮空気供給系を機器圧縮空気供給配管（かくはん用配管、計測制御用配管等）に接続し、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給による水素掃気を実施する。

可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等においては、圧縮空気手動供給ユニットを発生防止対策に用いる水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管（除染用配管等）とは異なる機器圧縮空気供給配管（かくはん用配管、計測制御用配管等）に接続し、水素発生量の不確かさを考慮しても未然防止濃度未満に維持するために十分な量の圧縮空気を供給する。

発生防止対策と同様に、水素濃度の推移を把握するために、可搬型水素

濃度計を用いて機器内の水素濃度を測定する。

また、水素爆発が発生すると、この際の圧力変動によって発生する飛沫に放射性物質が同伴して気相にエアロゾル状の放射性物質として移行する。これに伴い、大気中への放射性物質の放出量が増大するため、塔槽類廃ガス処理設備の流路を遮断し、気相中へ移行した放射性物質をセルに導出する。

この際、セル排気系の排風機が機能喪失している場合、導出先セルの圧力が上昇し、排気系統以外の場所から放射性物質を含む気体のリークが生じるおそれがあるが、水素爆発等に至る前であれば排気に含まれる放射性物質の濃度は平常運転時と同程度であり、セル導出前に高性能粒子フィルタで除去する。

セルへの放射性物質の導出後においては、セル排気系の高性能粒子フィルタは1段であることからセル排気系を代替する排気系（以下、「代替排気系」という。）として、可搬型排風機、可搬型発電機、可搬型ダクト及び2段の可搬型フィルタを敷設し、主排気筒につながるように可搬型排風機、可搬型ダクト及び可搬型フィルタを接続し、可搬型ダクト及びセル排気系を接続した後、可搬型排風機を運転することで、放射性エアロゾルを可搬型フィルタの高性能粒子フィルタで除去しつつ主排気筒から大気中に放出する。

このため、可搬型空気圧縮機、可搬型個別供給用建屋外ホース、可搬型個別供給用建屋内ホース、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース、可搬型排風機、可搬型発電機、可搬型ダクト及び可搬型フィルタを可搬型重大事故対処設備として新たに整備する。圧縮空気手動供給ユニット、圧縮空気供給系、塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニット及び塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニット（フィルタ）を常設重大事

故等対処設備として新たに設置するとともに、機器圧縮空気供給配管（か
くはん用配管，計測制御用配管等），代替換気設備のダクト，主排気筒等
を常設重大事故対処設備として位置づける。

4. 有効性評価

4.1 代表事例

水素掃気機能が喪失する範囲及び環境条件を踏まえた対処内容を考慮し、設計上定める条件より厳しい条件における外的事象の「地震」を代表事象として選定する。

4.2 代表事例の選定理由

水素掃気機能の喪失による水素爆発は、設計上定める条件より厳しい条件における外的事象の地震において、安全圧縮空気系を構成する動的機器の直接的な機能喪失及び全交流動力電源喪失による間接的な機能喪失により、水素掃気機能が喪失する。

また、設計上定める条件より厳しい条件における外的事象の火山又は設計上定める条件より厳しい条件における内的事象において、長時間の全交流動力電源喪失による間接的な動的機器の機能喪失又は動的機能の多重故障による一部の動的機器の直接的な機能喪失により水素掃気機能が喪失する。

設計上定める条件より厳しい条件における外的事象の地震により発生する水素掃気機能の喪失の場合、動的機器の機能喪失と全交流動力電源喪失が同時に発生する等、喪失する機器が多く、その範囲も広い。

また、設計上定める条件より厳しい条件における外的事象の地震は、環境条件の悪化も想定されることから、重大事故等対策としては厳しくなる。さらに、設計上定める条件より厳しい条件における外的事象は、地震及び火山が考えられるが、地震起因の方が、環境条件が厳しくなることから、有効性評価の代表としては、地震起因による水素掃気機能の喪失を選定する。

4.3 有効性評価の考え方

発生防止対策に係る有効性については、圧縮空気の供給により貯槽等内の水素濃度が未然防止濃度に至ることを防止でき、水素濃度が可燃限界濃度以上の場合は低下傾向を示して可燃限界濃度未満で平衡に達することについて確認するために、貯槽等内の水素濃度の推移を評価する。

拡大防止対策に係る有効性評価については、発生防止対策が有効に機能しない場合に、圧縮空気の供給により貯槽等内の水素濃度が未然防止濃度に至ることを防止でき、水素濃度が可燃限界濃度以上の場合は低下傾向を示して可燃限界濃度未満で平衡に達することについて確認するために、貯槽等内の水素濃度の推移を評価する。

また、放射性物質の放出量評価として、水素爆発を評価上見込んだ場合の放射性物質の放出量（ $Cs-137$ 換算）を、貯槽等から気相に移行する放射性物質の量、放出経路における低減割合を考慮し、評価する。

これらの評価における高レベル廃液等の水素発生量については、水素発生G値等を用いた簡便な計算で実施する。

4.4 機能喪失の条件

代表事例において、基準地震動の1.2倍の地震動を入力した場合においても必要な機能を損なわない設計としていないものは、機能喪失するものとし、動的機器については耐震性によらず機能喪失を想定する。

また、代表事例では、外部電源を含めた全交流動力電源の喪失を想定しているため、追加での機能喪失は想定しない。

4.5 機器の条件

分離建屋の圧縮空気自動供給貯槽は、内圧0.69MPaの5.5m³/基の貯槽3基及び安全圧縮空気系への接続配管で構成する。

精製建屋の圧縮空気自動供給貯槽は、内圧0.69MPaの2.5m³/基の貯槽2基、5m³/基の貯槽3基及び安全圧縮空気系への接続配管で構成する。

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の圧縮空気自動供給系の圧縮空気自動供給ユニットは、内圧14.7MPaの47Lポンベ3本、減圧弁、空気作動弁及び安全圧縮空気系への接続配管で構成する。

上記の機器は、安全圧縮空気系の圧力が低下した場合、その差圧により自動で圧縮空気の供給を開始し、未然防止濃度未満に維持するために十分な量の圧縮空気を供給する。

分離建屋の圧縮空気自動供給系の機器圧縮空気自動供給ユニットは、内圧14.7MPaの47Lポンベ2本、空気作動弁、減圧弁及び安全圧縮空気系への接続配管で構成する。

精製建屋の圧縮空気自動供給系の機器圧縮空気自動供給ユニットは、内圧14.7MPaの47Lポンベ10本、空気作動弁、減圧弁及び安全圧縮空気系への接続配管で構成する。

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の機器圧縮空気自動供給ユニットは、内圧14.7MPaの47Lポンベ3本、減圧弁、空気作動弁及び安全圧縮空気系への接続配管で構成する。

上記の機器は、分離建屋において沸騰の10時間40分前である事象発生後から4時間25分後に、精製建屋において沸騰の9時間10分前である事象発生後から2時間20分後に、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において沸騰の12時間25分前である事象発生後から6時間40分後に、圧縮空気の供給源を圧縮空気自動供給槽から圧縮空気自動供給ユニットに切り替えることで、

可搬型空気圧縮機から圧縮空気を供給する前までの間、水素発生量の不確かさを考慮しても未然防止濃度に維持するために十分な量の圧縮空気を供給する。

分離建屋の圧縮空気手動供給ユニットは、内圧14.7MP a の47Lポンベ2本、減圧弁及び機器圧縮空気供給配管への接続ホースで構成する。

精製建屋の圧縮空気手動供給ユニットは、内圧14.7MP a の47Lポンベ10本、減圧弁及び機器圧縮空気供給配管への接続ホースで構成する。

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の圧縮空気手動供給ユニットは、内圧14.7MP a の47Lポンベ6本、減圧弁及び機器圧縮空気供給配管への接続ホースで構成する。

上記の機器は、機器圧縮空気供給配管（かくはん用配管、計測制御用配管等）へ手動で接続することにより圧縮空気の供給を開始し、可搬型空気圧縮機から圧縮空気を供給する前までの間、貯槽等内の水素濃度を、水素発生量の不確かさを考慮しても未然防止濃度未満に維持するために十分な流量の圧縮空気を供給する。

可搬型空気圧縮機は、大型及び小型を準備する。大型の可搬型空気圧縮機は1台あたり約 $450\text{m}^3/\text{h}$ 、小型の可搬型空気圧縮機は1台あたり約 $220\text{m}^3/\text{h}$ の容量を有し、水素爆発の発生の防止のための空気の供給、水素爆発の発生の防止のための空気の一括供給、水素爆発の再発の防止のための空気の供給に用いる。水素爆発の発生の防止のための空気の供給及び水素爆発の再発を防止するための空気の供給において、大型の可搬型空気圧縮機は、前処理建屋、分離建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋で2台、小型の可搬型空気圧縮機は、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で1台を使用する。

高レベル廃液等の核種組成、濃度、崩壊熱密度は、再処理する使用済燃

料の冷却条件を15年とし、これを基に算出される放射性物質の核種組成を基準に、濃度及び崩壊熱密度の最大値を設定する。

高レベル廃液等の保有量は、公称容量とする。また、高レベル廃液等の硝酸イオン濃度が低いほど大きくなる水素発生G値については、全硝酸イオンのうち遊離硝酸濃度分の硝酸イオン濃度に対応する水素発生G値を設定することにより、現実的な水素発生G値よりも高い値を設定する。

4.6 操作の条件

水素爆発を未然に防止するための空気の供給は、可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等においては、安全圧縮空気系の掃気機能が喪失し、系統内の圧力が低下した時点で、圧縮空気貯槽等から圧縮空気を自動供給できるものとする。

圧縮空気自動供給系からの空気の供給量は、水素発生量が沸騰により増加することを想定すると不足する可能性がある。このため、圧縮空気自動供給系から、未然防止濃度に維持するために十分な量の圧縮空気を供給できる機器圧縮空気自動供給ユニットへの切替操作を、分離建屋において沸騰の10時間40分前である事象発生後から4時間25分後に、精製建屋において沸騰の9時間10分前である事象発生後から2時間20分後に、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において沸騰の12時間25分前である事象発生後から6時間40分後に実施できるものとする。

また、可搬型空気圧縮機による圧縮空気の供給は、準備が整い次第、実施できるものとしており、水素発生量の増加を考慮した場合、圧縮空気自動供給系及び機器圧縮空気自動供給ユニットからの圧縮空気の供給により未然防止濃度未滿を維持できなくなる時間である20時間に対し、開始までの時間を最も要するウラン・プルトニウム混合脱硝建屋においても、安

全圧縮空気系の機能喪失から 15 時間 40 分で開始できるものとする。

機器圧縮空気自動供給ユニット及び圧縮空気手動供給ユニットを必要としない貯槽等においては、可搬型空気圧縮機による圧縮空気の供給は、未然防止濃度に至るまでの時間余裕が最も短い分離建屋において 14 時間に対し、6 時間 40 分で開始できるものとする。

水素爆発の再発を防止するための空気の供給は、可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等においては、安全圧縮空気系の掃気機能が喪失した場合、速やかに圧縮空気手動供給ユニットの接続操作を行うものとし、圧縮空気自動供給系からの圧縮空気の供給がない場合の時間余裕が 1 時間 25 分と最も短い精製建屋のプルトニウム濃縮液一時貯槽に対し、圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給は、50 分で完了する。

可搬型空気圧縮機による圧縮空気の供給は、準備が整い次第、実施できるものとしており、水素発生量の増加を考慮した場合、圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給により未然防止濃度未満を維持できなくなる時間である 20 時間に対し、開始までの時間を最も要するウラン・プルトニウム混合脱硝建屋においても、安全圧縮空気系の機能喪失から 18 時間で開始できるものとする。

機器圧縮空気自動供給ユニット及び圧縮空気手動供給ユニットを必要としない貯槽等においては、可搬型空気圧縮機による圧縮空気の供給は、未然防止濃度に至るまでの時間余裕が最も短い分離建屋において 14 時間に対し、9 時間 45 分で開始できるものとする。

発生防止対策として継続して実施する圧縮空気自動供給系及び機器圧縮空気自動供給ユニットからの圧縮空気の自動供給又は拡大防止対策として実施する圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給により、塔槽類

廃ガス処理設備の圧力が上昇し、排気経路以外の場所から放射性物質を含む気体のリークが生じるおそれがある。

この時間は、全ての建屋で約 3 時間であり、大気中への放射性物質の放出量は、建屋内の移行経路を踏まえれば、わずかである。

可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等においては、圧縮空気の供給又は水素燃焼に伴い気相中に移行する放射性物質を導出先セルに導出するための可搬型ダクトによる可搬型フィルタ及び可搬型排風機の接続並びに可搬型排風機及び可搬型発電機の接続は、開始までの時間を最も要するウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において、圧縮空気自動供給ユニット、機器圧縮空気自動供給ユニットからの圧縮空気の供給により未然防止濃度未満を維持できなくなる時間である 20 時間に対し、15 時間までに作業を完了する。

この時間における大気中への放射性物質の放出量は、建屋内の移行経路及び高性能粒子フィルタの除染効果を踏まえれば、わずかである。

圧縮空気自動供給ユニット及び圧縮空気手動供給ユニットを必要としない貯槽等においては、圧縮空気の供給又は水素燃焼に伴い気相中に移行する放射性物質を導出先セルに導出するための可搬型ダクトによる可搬型フィルタ及び可搬型排風機の接続並びに可搬型排風機及び可搬型発電機の接続は、未然防止濃度に至るまでの時間余裕が最も短い分離建屋において 14 時間に対し、6 時間 40 分までに作業を完了する。

4.7 放出量評価の条件

高レベル廃液等の放射性物質の組成、濃度、崩壊熱密度と貯槽等の保有量は機器条件と同様である。

水素爆発を想定した場合の気相中に移行する放射性物質の割合について

は0.01%とする。放出経路における放射性物質の低減割合については、高性能粒子フィルタ2段による除染係数を 10^5 、放出経路構造物への沈着による除染係数を10とする。

放射性物質の放出量（ $Cs-137$ 換算）については、IAEAに示される換算係数を用いて、着目する核種の比から算出する。ただし、プルトニウム等の一部の核種については、それに加えて化学形態による影響の違いを補正する係数を乗じる。

4.8 判断基準

発生防止対策については、圧縮空気の供給により気相部の水素濃度が未然防止濃度に至らず、対策により水素濃度が可燃限界濃度以上の場合には低下傾向を示し可燃限界濃度未満で平衡値となること。

拡大防止対策については、圧縮空気の供給により気相部の水素濃度が未然防止濃度に至らず、対策により水素濃度が可燃限界濃度以上の場合には低下傾向を示し可燃限界濃度未満で平衡値となること。

仮に水素爆発を想定した場合の大気中へ放出される放射性物質の放出量と、水素爆発の再発を防止するための空気の供給により大気中へ放出される放射性物質の放出量の合計値が $Cs-137$ 換算で100TBqを下回るものであって、かつ、実行可能な限り低いこと。

5. 有効性評価の結果

5.1 発生防止対策

安全圧縮空気系の水素掃気機能が喪失により、貯槽等内の水素濃度が上昇し始める。可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等においては、圧縮空気自動供給系及び機器圧縮空気自動供給ユニットからの圧縮空気の自動供給による水素掃気を実施される。また、貯槽等に対し、水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管を用いた、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給による水素掃気を実施する。水素濃度が最も高くなる前処理建屋の計量前中間槽の場合、貯槽等内の水素濃度がドライ換算で約 4.4 vol % まで上昇するが、未然防止濃度に至ることは無く、その後、低下傾向を示すことから水素爆発の発生を防止することができる。

また、低下傾向を示した貯槽内の水素濃度は、可燃限界濃度未満に移行し、その状態が維持される。これ以外の貯槽等においても、貯槽等内の水素濃度は未然防止濃度に至ることは無く、その後は、低下傾向を示し、可燃限界濃度未満に移行し、その状態が維持される。

5.2 拡大防止対策

発生防止対策が機能しなかった場合、貯槽内の水素濃度が上昇する。可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始前に未然防止濃度に至る可能性のある貯槽等においては、圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給による水素掃気を実施する。また、貯槽等に対し、機器圧縮空気供給配管（かくはん用配管、計測制御用配管等）を用いた、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給による水素掃気を実施する。水素濃度が最も高くなる精製建屋のプルトニウム濃縮液一時貯槽の場合、貯槽等内の水素濃度がドラ

イ換算で約 4.9×10^{-1} %まで上昇するが、未然防止濃度に至ることはなく、その後、低下傾向を示すことから水素爆発の発生を防止することができる。

また、低下傾向を示した貯槽内の水素濃度は、可燃限界濃度未満に移行し、その状態が維持される。これ以外の貯槽等においても、貯槽等内の水素濃度は未然防止濃度に至ることは無く、その後は、低下傾向を示し、可燃限界濃度未満に移行し、その状態が維持される。

セル導出システムの系統構成及び大気中へ放出される放射性物質の放出量評価に水素爆発を評価上見込んだ場合、大気中へ放出される放射性物質の放出量（ $Cs-137$ 換算）は、前処理建屋において、 8×10^{-5} TBq、分離建屋において、 2×10^{-4} TBq、精製建屋において、約 3×10^{-4} TBq、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において、 7×10^{-5} TBq 及び高レベル廃液ガラス固化建屋において、 2×10^{-3} TBq であり、これらを合わせても約 2×10^{-3} TBq であり、100 TBq を下回るものであって、かつ、実行可能な限り低い。

なお、発生防止対策として継続して実施する圧縮空気自動供給系及び機器圧縮空気自動供給ユニットからの自動供給または拡大防止対策として実施する圧縮空気手動供給ユニットからの圧縮空気の供給により、塔槽類廃ガス処理設備の圧力が上昇し、排気系統以外の場所から放射性物質を含む気体のリークが生じるおそれがある。

この時間は、すべての建屋で約 3 時間であり、大気中への放出に至る建屋内の移行経路を踏まえばその影響はわずかであるが、上記の放出量は、この寄与分も含めた結果である。

5.3 不確かさの影響評価

5.3.1 事象、事故条件及び機器条件の不確かさの影響

設計上定める条件より厳しい条件における内的事象で発生する動的機器の故障による水素掃気機能喪失の場合、対処が必要な設備、建屋の範囲が限定される。当該評価では、代表事例において、各建屋で並行して作業した場合の対策の成立性を確認していることから、評価結果は変わらない。

設計上定める条件より厳しい条件における内的事象で発生する長時間の全交流動力電源の喪失事象及び 設計上定める条件より厳しい条件における外的事象の火山起因による水素掃気機能喪失の場合、初動対応での状況確認やアクセスルート確保等の作業において、地震起因と比較して早い段階で重大事故等対策の着手できるため、対処の時間余裕が大きくなることから、判断基準を満足することに変わりはない。

高レベル廃液等の組成、濃度及び崩壊熱密度は、想定される最大値を設定する等、厳しい結果を与える条件で評価をしており、最確条件とした場合には、対処の時間余裕が大きくなることから、判断基準を満足することに変わりはない。

水素発生G値は、硝酸溶液については硝酸濃度の変動に伴う不確かさがある。放射線分解により硝酸が減少する可能性はあるが、平常運転時には設計値を維持するように運用することから、大幅な減少は想定しがたい。また、仮に、プルトニウム濃縮液一時貯槽において硝酸濃度が10%減少したとしても、全硝酸イオン濃度は水素発生G値を設定するにあたって使用した硝酸イオン濃度以上であることから、水素発生量は設定した水素発生量を超過することはない。他の貯槽等においても、全硝酸イオン濃度は水素発生G値を設定する際に用いた硝酸イオン濃度以上とすることから、水素発生量は設定した水素発生量を超過することはない。

また、水素発生G値は、溶液のかくはん状態にも影響を受け、増加する不確かさを有する。重大事故対策においては、溶液のかくはん状態による

水素発生量の不確かさを考慮しても機器内の水素濃度を低く維持できるよう、十分な圧縮空気流量を供給するが、水素濃度に変化が生じる可能性のあるタイミングで水素濃度を測定し、柔軟に対応できることから、これらを考慮した場合でも判断基準を満足することに変わりはない。

事態収束までの大気中への放射性物質の放出量（ $Cs-137$ 換算）については、放射性物質の気相中への移行割合や放出経路によって放射性物質の低減割合に不確かさがある。放射性物質の気相中への移行割合については、参考とした実験値に幅があり評価に用いた値よりも移行割合が1桁大きい実験結果があることから、放出量が1桁増加する可能性がある。

一方、評価に用いた高レベル廃液等の核組成等や経路上の除染係数を評価は厳しくなるよう設定しており放出量が1桁以上小さくなることが想定される。このように不確かさを有するものの、これらを考慮した場合でも判断基準を満足することに変わりはない。

放出量評価においては、水素爆発が5建屋49貯槽等で同時に発生するとし、それぞれ水素爆発が1回発生した場合における大気中への放射性物質の放出量を評価しているが、発生防止対策が機能しなかったとしても、拡大防止対策により水素爆発は発生しないことから判断基準を満足することに変わりはない。

5.3.2 操作条件の不確かさの影響

可搬型空気圧縮機などの可搬型重大事故等対処設備を用いた対処に時間を要した場合や予備の可搬型重大事故等対処設備による対処を想定し、対処の実施が2時間遅延した場合、水素濃度の観点で最も厳しい前処理建屋の計量前中間貯槽の水素濃度は、水素掃気機能喪失から38時間35分後で4.6vol%である。

同様に、拡大防止対策による対処の実施が2時間遅延したとしても、水素濃度の観点で最も厳しい精製建屋のプルトニウム濃縮液一時貯槽の気相部の水素濃度は、圧縮空気手動供給ユニットより未然防止濃度未満に維持するために十分な圧縮空気量の供給が継続されるため、水素濃度が上昇することはない。

水素爆発を未然に防止するための空気の供給、気相へ移行した放射性物質をセルへ導出する手段は、水素掃気機能の喪失をもって着手し、機器内の水素濃度が未然防止濃度に至るまでの時間に対し、圧縮空気自動供給系及び機器圧縮空気自動供給ユニットの圧縮空気の供給がない建屋のうち、作業に時間を要する前処理建屋において39時間25分、圧縮空気自動供給系及び機器圧縮空気自動供給ユニットの圧縮空気の供給がある建屋のうち、作業に時間を要するウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において4時間20分の時間余裕をもって完了させることから、十分時間余裕が確保されていることから判断基準を満足していることには変わりはない。

なお、可搬型空気圧縮機などの可搬型重大事故等対処設備を用いた対処に時間を要した場合や予備の可搬型重大事故等対処設備による対処を想定しても、時間余裕で確保した時間以内に設置することで重大事故等対策を再開でき、事態を収束できる。

6. 同時発生及び連鎖

6.1 重大事故等の事象進展，事故規模の分析

本重大事故の事象進展，事故規模の分析により明らかとなった平常運転時からの状態の変化等は，水素燃焼による貯槽等の圧力上昇，高レベル廃液等の温度上昇，放射線量の上昇である。具体的には，貯槽等の圧力は一時的に約50KPa増加し，高レベル廃液等の温度は一時的に約1℃増加する。放射線量の上昇については，水素燃焼が発生した場合には，放射性物質が気相中に移行するため，貯槽等外の放射線量は上昇するが，貯槽等内の放射線量は水素燃焼が生じても変わらない。

これらの平常運転時からの状態の変化等を考慮した同時発生する重大事故等の重大事故等対策に与える影響及び連鎖して発生する可能性のある重大事故等は以下のとおりである。

6.2 重大事故等の同時発生

重大事故等が同時に発生する場合については，同種の重大事故が同時に発生する場合，異種の重大事故が同時に発生する場合及びそれらの重畳が考えられる。

本重大事故は，本重大事故を想定する貯槽等にあるとおり，5建屋5機器グループ49貯槽等で同時に発生する可能性があり，本評価は同時発生するものとして評価した。

本重大事故と同時発生する可能性のある異種の重大事故は，「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定（要旨）」に示すとおり，外的事象の「地震」及び「火山」，内的事象の「長時間の全交流動力電源の喪失」により，安全圧縮空気系，安全冷却水系，プール水冷却系及び補給水設備が同時に機能を喪失することから，冷却機

能の喪失による蒸発乾固及び使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷である。

各重大事故等の重大事故等対策は互いに異なる対策であり、各重大事故等対策が競合することはない。また、重大事故等対策に使用する設備も重大事故等ごとに専用の設備を整備することから、設備が競合することはない。

以上より、各重大事故等対策の有効性評価は、重大事故等が同時発生した場合であっても個別に評価することが可能であるが、各重大事故等が発生した場合の事故影響が相互に与える影響を考慮する必要がある。

冷却機能の喪失による蒸発乾固の事故影響が本重大事故の重大事故等対策に与える影響は、崩壊熱による溶液の温度上昇及び沸騰に伴う圧力の上昇を考慮する必要があるが、溶液温度は沸点程度であり、圧力は3 kPa程度であることから圧縮空気の供給を阻害することはない。その影響は無視できる程度である。以上より、重大事故等が同時発生した場合であっても、本重大事故の重大事故等対策の有効性評価結果は単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、重大事故等対策が阻害されることはない。

一方、本重大事故の事故影響が冷却機能の喪失による蒸発乾固の重大事故等対策に与える影響は、「6.1 重大事故等の事象進展、事故規模の分析」に記載したとおり、水素燃焼による貯槽等の圧力上昇、高レベル廃液等の温度上昇である。

冷却機能の喪失による蒸発乾固の重大事故等対策の有効性評価では水素燃焼による貯槽等の圧力上昇及び高レベル廃液等の温度上昇の影響を考慮する必要があるが、水素燃焼による圧力上昇は過渡的であり対処に影響を与えず、また、水素燃焼により生じたエネルギーが全て溶液に付加されることを仮定したとしても溶液の温度上昇は1℃未満であり、実際の放熱による除熱効果を考慮すればその影響は無視できる程度である。以上より、重

大事故等が同時発生した場合であっても、冷却機能の喪失による蒸発乾固の重大事故等対策の有効性評価結果は単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、重大事故等対策が阻害されることはない。

本重大事故及び使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷の相互影響については、本重大事故が発生する貯槽等と使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設は異なる建屋に位置しており、互いの事故影響が当該バウンダリを超えて波及することはないことから、これらの重大事故等対策の有効性評価結果は、単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、各々の重大事故等対策が阻害されることはない。

同種と異種の重大事故の同時発生が重畳した場合の大気中への放射性物質の放出量については、「2.7 重大事故が同時に又は連鎖して発生した場合の対処（要旨）」において評価し、対処に必要な要員及び燃料等については、「2.8 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において評価している。

6.3 重大事故等の連鎖

臨界事故への連鎖については、水素燃焼が発生する貯槽等において講じられている臨界事故に係る安全機能は、全濃度安全形状寸法管理及び濃度管理であるが、水素燃焼による温度及び圧力の上昇を考慮しても、これらの貯槽等のバウンダリの健全性が維持され、全濃度安全形状寸法が維持されること、核的制限値を逸脱することがないことから、臨界事故への連鎖は想定されない。

冷却機能の喪失による蒸発乾固への連鎖については、溶液が沸騰にいたるかに関しては、水素燃焼による溶液の崩壊熱に変化はなく、通常時の冷却能力及び機器からの放熱は溶液の崩壊熱に対して十分な余力を有してお

り、貯槽等内の溶液の温度は沸点にいたらず、溶液が沸騰することが無いことから、冷却機能の喪失による蒸発乾固への連鎖は想定されない。

T B P等の錯体の急激な分解反応への連鎖については、T B P等を含む使用済みの有機溶媒は、平常運転時においては希釈剤により洗浄されるため、水素燃焼が発生する貯槽等には、有意量のT B P等を含む使用済みの有機溶媒が含まれることはない。また、事故時においても、水素燃焼が発生する貯槽等のバウンダリは健全性を維持することから、T B P等があやまって混入することもないこと、水素燃焼により高レベル廃液等の温度が上昇するが、高レベル廃液等の温度がT B P等の錯体の急激な分解反応の発生温度である135℃に至ることはないことから、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生は考えられない。

有機溶媒火災への連鎖については、水素燃焼が発生した場合、有機溶媒が混入する可能性のある抽出廃液及び一時貯留処理液の温度が上昇するが、n-ドデカンの引火点である74℃に至ることはないから、有機溶媒火災は生じない。

使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷への連鎖については、水素燃焼が発生する貯槽等と使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設は異なる建屋に位置していることから、水素燃焼による事故影響は、当該バウンダリを超えて波及することはないことから、使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷（想定事故2）は生じない。

その他の放射性物質の漏えいへの連鎖については、水素燃焼が発生する貯槽等、これに接続する水素掃気配管、機器圧縮空気供給配管、塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニット及びその他の安全機能を有する機器で構成されるバウンダリは、通常時からの状態の変化等を踏まえても、健全性を維持することから、その他の放射性物質の漏えいは生じない。

7. 必要な要員及び資源

外的事象の「地震」及び「火山」を要因として水素掃気機能の喪失が発生した場合には、「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定制（要旨）」に示すとおり、「冷却機能の喪失による蒸発乾固」及び「使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷」に対しても同時に対処することとなる。このため、重大事故等対処に必要な要員および燃料等の成立性については、それぞれの対処に必要な数量を重ね合わせて評価する必要がある、「2.8 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において評価している。

7.1 要員

本重大事故における発生防止対策および拡大防止対策に必要な要員は、水素掃気機能の喪失を受けて、各建屋で並行して対応することとなっており、外的事象の「地震」を要因とした場合、全建屋の合計で137名である。なお、外的事象の「火山」を要因とした場合、降灰予報を受けて建屋外でのホース敷設等の準備作業に入ることから、建屋外の作業に要する要員数が外的事象の「地震」の場合を上回ることはなく、外的事象の「地震」と同じ人数で対応できる。

また、内的事象を要因とした場合は、作業環境が外的事象の「地震」で想定される環境条件より悪化することが想定されず、対処内容にも違いがないことから、必要な要員は外的事象の「地震」の場合に必要な人数以下である。

事業所内に常駐している実施組織要員は164名であり、必要な作業対応が可能である。

7.2 電源

電動の可搬型排風機への給電は、可搬型排風機の起動及び運転に必要な容量を有する可搬型発電機を敷設するため、対応が可能である。

7.3 燃料

全ての建屋の水素爆発の発生防止対策及び拡大防止対策を7日間継続して実施するのに必要な軽油は合計で約18m³である。

軽油貯蔵タンクにて約400m³の軽油を確保していることから、外部支援を考慮しなくとも7日間の対処の継続が可能である。

TBP 等の錯体の急激な分解反応の有効性評価 要旨

1. 事象の特徴

T B P 又はその分解生成物であるりん酸二ブチル，りん酸一ブチル（以下，これらの物質を「T B P 等」という。）と硝酸，硝酸ウラニル又は硝酸プルトニウムの錯体（以下，これらの錯体を「T B P 等の錯体」という。）の急激な分解反応のおそれのある機器には，加熱蒸気最高温度を設定するとともに供給液にはT B P が混入しないよう，T B P を除去する設計とすることで，濃縮缶又は蒸発缶におけるT B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を防止する設計としている。

希釈剤によるT B P 等の除去機能が喪失し，濃縮缶又は蒸発缶への加熱蒸気の制御にも異常が生じ，熱的制限値による停止機能が喪失した状態が継続し，濃縮缶又は蒸発缶内の溶液の温度がT B P 等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を超えた場合にT B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する。

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い，濃縮缶又は蒸発缶内に存在しているT B P 等は全て分解反応により消費されると想定すると，二酸化炭素，水，窒素やりん酸といった分解生成物及びエネルギーが発生するため，濃縮缶又は蒸発缶内及び濃縮缶又は蒸発缶に接続している塔槽類廃ガス処理設備内の圧力及び温度が急激に上昇するとともに濃縮缶又は蒸発缶内の溶液中の飛まつが放射性エアロゾルとして蒸気とともに気相中に移行することで，大気中へ放出される放射性物質の量が増大する。

T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後，濃縮缶又は蒸発缶へT B P 等を含む供給液の供給及び加熱が継続され，この分解

反応が発生する温度を超えた場合には、この分解反応が継続的に発生することが考えられる。

設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定において、T B P等の錯体の急激な分解反応はプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶（以下、「プルトニウム濃縮缶」という。）で発生が想定される。

2. 事故の特徴を踏まえた対策と考え方

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を自動又は手動にて停止することで、T B P 等の錯体の急激な分解反応の再発を防止するとともに、プルトニウム濃縮缶を加熱するための蒸気発生器への蒸気供給を手動にて停止する。

気相中に移行した放射性物質の大気中への放出を防止するため、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生後、速やかに、精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）（以下、「廃ガス処理設備」という。）の流路を遮断するとともに気相中に移行した放射性物質を貯留タンクに閉じ込める。

また、貯留タンクが所定の圧力に達した場合、排気経路を貯留タンクから廃ガス処理設備に切り替えるとともに、貯留タンクの隔離弁を閉止し、空気圧縮機を停止する。貯留タンク入口には逆止弁を設置することで、貯留タンクから平常運転時の排気経路への放射性物質を含む気体の逆流を防止する。

3. 具体的対策

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、プルトニウム濃縮缶液相部温度高警報、プルトニウム濃縮缶圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報の発報により T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を自動的に停止する、又は緊急停止系を手動にて作動させることで、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する。また、蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁を閉止することで、連続的に供給液が供給されることによって発生する T B P 等の分解反応を停止させる。

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合には、貯留タンクに放射性物質を導出するため、貯留設備の隔離弁を自動開放するとともに貯留設備の空気圧縮機を自動で起動し、貯留タンクに放射性物質を導く。並行して、廃ガス処理設備の流路を遮断するため、自動で廃ガス処理設備の隔離弁を閉止するとともに排風機を停止する。

上記の導出操作は、貯留タンクの圧力が所定の圧力(0.7MPa)に達するまで継続し、所定の圧力に達した場合は、排気経路を貯留タンクから廃ガス処理設備に切り替える。

この操作は中央制御室からの操作で、廃ガス処理設備の隔離弁を開放するとともに廃ガス処理設備の排風機を起動する。この際、貯留タンクには逆止弁が設けられているため、貯留タンクから廃ガス処理設備への放射性物質の逆流はない。その後、中央制御室からの操作で貯留設備の隔離弁を閉止するととも

に、空気圧縮機を停止する。

これらの操作により、排気を廃ガス処理設備から主排気筒を介して放出する。

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生によって、系統内の雰囲気が圧縮されることにより、廃ガスポットから廃ガスの一部がセルへ放出されることが考えられる。この際にセルへ放出される廃ガスには、T B P 等の錯体の急激な分解反応によって発生する放射性物質は含まれない。セルへ放出された廃ガスは、精製建屋換気設備から主排気筒を介して放出する。

このため、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン、プルトニウム精製設備の配管、プルトニウム濃縮缶供給槽液位計、プルトニウム濃縮缶圧力計、プルトニウム濃縮缶気相部温度計、プルトニウム濃縮缶液相部温度計、緊急停止系、緊急停止操作スイッチ、プルトニウム精製設備の蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁、プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計、廃ガス処理設備の配管、高性能粒子フィルタ、隔離弁、廃ガスポット、排風機、建屋換気設備のダクト、セル排気フィルタユニット、グローブボックス・セル排風機、主排気筒、一般冷却水系、安全圧縮空気系、一般圧縮空気系、低レベル廃液処理設備、監視制御盤、安全系監視制御盤及び電気設備を常設重大事故等対処設備として位置付ける。

また、貯留設備の配管、隔離弁、逆止弁、空気圧縮機、貯留タンク、圧力計及び流量計を常設重大事故等対処設備として新たに設置する。

4. 有効性評価

4.1 代表事例及び代表事例の選定理由

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生が想定される機器は、設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定期間においてプルトニウム濃縮缶の1基とされていることから、有効性評価はプルトニウム濃縮缶を対象として実施する。

4.2 有効性評価の考え方

重大事故等の拡大の防止のための措置に係る有効性評価は、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生後、供給液の供給又は加熱を停止することで、T B P 等の錯体の急激な分解反応の再発を速やかに防止できることを評価する。

また、放射性物質の放出量評価として、拡大防止対策の実施状況を踏まえ、廃ガス処理設備の系統内の放射性物質質量、プルトニウム濃縮缶から気相へ移行する割合、放出経路における除染係数、貯留タンクへの導出を考慮し、事態の収束までに大気中へ放出する放射性物質質量をセシウム-137換算として評価する。

これらは解析コードを用いずに評価する。

4.3 事故の条件

内的事象により T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生することを想定する。

事故の起因と関連性のない安全機能を有する施設について

は、その安全機能の喪失を想定しない。

T B P 等の錯体の急激な分解反応の規模については、プルトニウム濃縮缶へ供給される T B P 量を約 208 g 及び約 1 g と設定する。

4.4 機器の条件

プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンは、プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報の発報により、T B P 等の錯体の急激な分解反応の検知から1分以内に自動的に停止する、又は、同警報の発報により、T B P 等の錯体の急激な分解反応の検知から1分以内に緊急停止系により手動にて停止する。

蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁を閉止することにより、プルトニウム濃縮缶の加熱が停止する。

貯留設備は、プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち、2つ以上の警報の発報により、貯留タンクへの経路が確立され、放射性物質の導出が自動的に実施される。貯留タンクの容量は T B P 等の錯体の急激な分解反応の検知を起点として約2時間にわたって放射性物質を含む気体を貯留できる容量として約 11m^3 を有するものとする。

プルトニウム濃縮缶へ供給される安全圧縮空気及び一般圧縮空気は、それぞれ約 $0.4\text{m}^3/\text{h}$ 、約 $0.05\text{m}^3/\text{h}$ とする。

4.5 操作の条件

プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作は、プルトニウム濃縮缶において T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生してから速やかに開始し、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知してから 25 分後までに作業を完了できる。

T B P 等の錯体の急激な分解反応により発生する放射性物質を貯留タンクへ導出し、貯留タンクが規定圧力に到達後、排気経路を貯留設備から平常運転時の廃ガス処理設備に切り替える操作は、中央制御室から行い、貯留タンクの圧力が規定圧力に到達した時点から 8 分後までに作業を完了できる。

4.6 放出量評価の条件

プルトニウム濃縮缶が内包する放射性物質量は、T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度が沸点となるまで過濃縮されたプルトニウム濃度及び濃縮運転が行うことができる最大容量から算出した値とする。

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生後、プルトニウム濃縮缶から廃ガスポットまでの廃ガスは廃ガスポットからセルへ導出され、セルの換気設備より排気されるものとする。

T B P 等の錯体の急激な分解反応に伴い発生する放射性物質は廃ガス処理設備より排気されるものとし、この放出量の他に、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生による供給液の供給停止に 1 分間を要するものとして、1 分間 T B P 等の錯体の

急激な分解反応が継続することによる放射性物質の放出量を加味して評価する。

T B P 等の錯体の急激な分解反応において気相中に移行した放射性物質は貯留タンクに閉じ込められるが、約 4 % がプルトニウム濃縮缶に残留し、廃ガス処理設備への切替えに伴い廃ガス処理設備により放射性物質を低減したうえで主排気筒から放出されるものとする。

T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率は、事象発生時に発生するエネルギーを考慮し、プルトニウム濃縮缶内の溶液は約 4×10^{-3} 、T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後、供給液の供給が 1 分間継続した際に供給される供給液は 5×10^{-5} を使用する。

セルへ導出される放射性物質に対する放出経路における放射性物質の低減割合については、放出経路構造物への沈着による放射性エアロゾルの除染係数は 10、セル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタの除染係数は 10^3 とし、合計 10^4 とする。

廃ガス処理設備から放出される又は貯留タンクへ導出される放射性物質に対する放出経路における放射性物質の低減割合については、放出経路構造物への沈着による放射性エアロゾルの除染係数は 10、廃ガス処理設備の高性能粒子フィルタの除染係数は、1 段目を 10^3 、2 段目を 10^2 、合わせて除染係数は 10^6 とする。

放射性物質の放出量のセシウム-137 換算係数については I A E A - T E C D O C 1162 に示される地表沈着した放射性

物質からのガンマ線による外部被ばく等にかかる実効線量への換算係数を用いて、セシウム-137と着目核種との比から算出する。ただし、プルトニウム等の一部の核種については、これに加え化学形態による影響の違いによる補正する係数を乗じる。

4.7 判断基準

T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策の判断基準は、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を速やかに防止できること。

また、T B P等の錯体の急激な分解反応によって主排気筒から大気中へ放出される放射性物質の放出量がセシウム-137換算で100 T B qを十分下回るものであって、かつ、実行可能な限り低いこと。

5. 有効性評価の結果

5.1 拡大防止対策

T B P 等の錯体の急激な分解反応を検知した場合は、検知から 1 分以内に自動又は手動にてプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンが停止することができる。

プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作は、T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後 2 名にて 25 分以内に完了することができる。

プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンを T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後 1 分以内に停止することができるため、T B P 等の錯体の急激な分解反応の再発は速やかに防止できる。

放射性物質の放出量について、貯留タンクへの貯留が開始されてから貯留タンク内の圧力が規定の圧力である 0.7M P a に達するまでの期間においては、大気中への放射性物質の放出は生じない。貯留タンクの圧力が規定の圧力に達した後、排気経路を貯留タンクへの経路から廃ガス処理設備に切り替えることで、貯槽に残留した放射性物質が放出され、約 3×10^{-5} T B q となる。

5.2 不確かさの影響評価

5.2.1 事象，事故条件及び機器条件の不確かさの影響

T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率には引用した文献の条件による不確実性があることから、1 桁程度の下振れを有する。

一方、非安全側な影響として、移行率の計算に使用する T B

P等の錯体の急激な分解反応により発生する熱量及びTBPの水への溶解度の幅を考慮すると、条件によっては1桁未満の上振れを有する可能性がある。

TBP等の錯体の急激な分解反応の発生後、供給液の供給継続に伴う事象の再発に対して不確かさが存在することから、1桁程度の下振れを有する。

放射性物質の除染係数については、放出経路による除染係数について、放出経路の構造の観点で不確か性があるが、1桁程度の変動に収まると考えられる。

TBP等の錯体の急激な分解反応の発生後において、プルトニウム濃縮缶内でのプルトニウム溶液の挙動に不確かさがあるとして、水素掃気用や計装用空気の空気によってプルトニウム濃縮缶外に放射性物質が移動するとして求めた割合を設定したが、プルトニウム濃縮缶内でプルトニウム溶液の蒸発が継続している場合には、水素掃気用の空気の他に水蒸気によってもプルトニウム濃縮缶外に放射性物質が移動することから、放出量に対して1桁未満の下振れを有する可能性がある。

非安全側な影響として、廃ガス処理設備から貯留タンクへの系統の切替えが万一機能しない場合には、廃ガス処理設備を再起動し、廃ガス処理設備から放出するため、設定値に対して2桁未満低下する可能性があるが、判断基準を満足することには変わりはない。

5.2.2 操作条件の不確かさの影響

排気経路の廃ガス処理設備への切替え操作については、切替

え操作が想定よりも時間を要した場合においても、貯留タンクと廃ガス処理設備との間に設置する逆止弁により、貯留タンク内の放射性物質が廃ガス処理設備に移行することはない。また、切替え操作に想定よりも時間を要した場合には、貯留タンク内の圧力が空気圧縮機の吐出圧に達することで、貯留タンクへの放射性物質の導出が困難となり、廃ガス処理設備の水封部からセルに放射性物質が導出される可能性はあるが、それらの放射性物質は建屋換気設備の高性能粒子フィルタにより除染されることから、判断基準を満足することには変わりはない。

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生検知後に実施する加熱蒸気の供給停止操作に想定よりも時間を要した場合、プルトニウム濃縮缶の温度が高い状態が継続することとなるが、T B P 等を含む供給液の供給は停止しており、T B P 等の錯体の急激な分解反応の再発は防止できていることから、判断基準を満足することには変わりはない。

また、T B P 等の錯体の急激な分解反応は内的事象を要因としており、有意な作業環境の悪化はないことから、実施組織要員の操作の時間余裕には影響を与えない。

6. 同時発生及び連鎖

6.1 重大事故等の事象進展，事故規模の分析

本重大事故の事象進展，事故規模の分析により明らかとなった平常運転時からの状態の変化等は，プルトニウム濃縮缶内のプルトニウム濃度の上昇，供給液に溶存分としてT B P等が多量に存在すること，T B P等の錯体の急激な分解反応によるプルトニウム濃縮缶気相部及び廃ガス処理設備の温度及び圧力上昇，廃ガス処理設備の湿度及びプルトニウム濃縮缶内のプルトニウム溶液の濃度上昇による放射線量の上昇がある。具体的には，T B P等の錯体の急激な分解反応の発生により，プルトニウム濃縮缶内の気相部温度は瞬間的に約 370℃まで上昇し，気相部圧力も瞬間的に 840 k P a 上昇するが，その後速やかに低下する。廃ガス処理設備の高性能粒子フィルタに到達する際には温度として 50℃程度，差圧の上昇として 4 k P a 程度となることから健全性を損なうことはない。T B P等の錯体の急激な分解反応により圧力が増加することから，廃ガス処理設備の高性能粒子フィルタへ到達する水ミスト量が増加するが，高性能粒子フィルタは水ミストにより健全性を損なうことはない。プルトニウム濃縮缶内のプルトニウム濃縮液の濃度が平常運転時よりも高い状態であることから，水素発生量は平常運転時よりも増加し，放射線量も増加する。T B P等の錯体の急激な分解反応に伴い気相中へ放射性物質が移行することから，廃ガス処理設備の放射線量も増加する。これらの通常時からの状態の変化等を踏まえた場合の他の重大事故が連鎖して発生する可能性については以下のとおりである。

これらの平常運転時からの状態の変化等を考慮した同時発生する重大事故等の重大事故等対策に与える影響及び連鎖して発生する可能性のある重大事故等は以下のとおりである。

6.2 重大事故等の同時発生

重大事故等が同時に発生する場合については、同種の重大事故が同時に発生する場合、異種の重大事故が同時に発生する場合及びそれらの重畳が考えられる。

T B P 等の錯体の急激な分解反応については、「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定（要旨）」に示すとおり、動的機器の多重故障及び誤操作を要因とした複数の発生防止機能の喪失により発生するものであり、その具体的な発生条件は同種の重大事故及び異種の重大事故の要因となる安全機能の喪失に当たらないことから、重大事故が同時に発生することは想定されない。

6.3 重大事故等の連鎖

臨界事故への連鎖については、プルトニウム濃縮缶において講じられている臨界事故に係る安全機能として全濃度安全形状寸法管理があるが、プルトニウム濃縮液は硝酸プルトニウム溶液の形で存在しており、T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時の温度、圧力、その他のパラメータ変動を考慮しても、臨界事故に係る安全機能が喪失することはないため、臨界事故は生じない。

冷却機能の喪失による蒸発乾固への連鎖については、安全機

能として冷却機能はなく，T B P等の錯体の急激な分解反応によるエネルギーを全て溶液に与えたとしても，溶液の性状が変化するような温度変化は生じないこと，また，プルトニウム濃縮液は崩壊熱が平常時と比較して高いものの放熱を考慮すると沸騰は停止することから，冷却機能の喪失による蒸発乾固は発生しない。

放射線分解により発生する水素による爆発への連鎖については，プルトニウム濃縮缶において講じられている放射線分解により発生する水素による爆発に係る安全機能として安全圧縮空気系による水素掃気機能があるが，プルトニウム濃縮液が平常運転時よりも水素発生量が多くなるものの水素掃気流量が十分確保されており，想定される温度，圧力，その他のパラメータ変動を考慮しても安全圧縮空気系による水素掃気機能が喪失することはないため，放射線分解により発生する水素による爆発は生じない。

有機溶媒等による火災への連鎖については，プルトニウム濃縮缶において講じられている有機溶媒等による火災に係る安全機能はなく，n-ドデカンが供給されないこと，T B P等の錯体の急激な分解反応によりT B P等は消費されることからプルトニウム濃縮缶内には残っていないため，有機溶媒等による火災は生じない。

使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷への連鎖については，プルトニウム濃縮缶と使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設は異なる建屋に位置し，T B P等の錯体の急激な分解反応による事故影響が，プルトニウム濃縮缶のバウンダリを超えて波及す

ることは想定されないことから、使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷（想定事故２）の発生は考えられない。

その他の放射性物質の漏えいへの連鎖については、プルトニウム濃縮缶、これに接続する廃ガス処理設備配管及びその他の安全機能を有する機器で構成されるバウンダリは、通常時からの状態の変化等を踏まえても、健全性を維持することから、その他の放射性物質の漏えいの発生は考えられない。

7. 必要な要員及び資源

T B P 等の錯体の急激な分解反応への対処に必要な要員及び燃料等については、水源を要する対策はなく、電気設備以外の電源の使用は必要ないことから、軽油等の燃料の消費はない。

T B P 等の錯体の急激な分解反応に対する拡大防止対策に必要な要員は、12名であり、これに対して実施組織要員は18名であることから、対応可能である。

使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷防止の有効性評価 要旨

1. 事故の特徴

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設では、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）（1基：1,000 t・U_{PR}）、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）（1基：1,000 t・U_{PR}）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）（1基：1,000 t・U_{PR}）の合計3基の燃料貯蔵プールを設置している。この他に、原子力発電所から受け入れた使用済燃料を仮置きする燃料仮置きピット（2基：約35 t・U_{PR}/基）及び前処理建屋へ使用済燃料を送り出すための燃料送出しピット（1基：最大約28 t・U_{PR}）を設置している（これらを総称して「燃料貯蔵プール等」という。）。これらの燃料貯蔵プール等では、合計で最大3,000 t・U_{PR}の使用済燃料を貯蔵することができる。燃料貯蔵プール等は燃料移送水路を介して全て連結された状態で使用済燃料の取扱いを行う。また、万一、燃料貯蔵プール等に異常が発生した場合に備え、燃料仮置きピットを隔離するためのピットゲート及び燃料貯蔵プールを隔離するためのプールゲートを設置しているが、通常運転時は使用しない。

また、燃料貯蔵プール等には、使用済燃料が有する崩壊熱を除去し、燃料貯蔵プール等の水の沸騰を防止するために、プール水冷却系及び安全冷却水系を設置している。また、自然蒸発による燃料貯蔵プール等の水位低下に対して、遮蔽水位を維持するために補給水設備を設置している。

(1) 想定事故1の特徴

プール水冷却系又は安全冷却水系の冷却機能が喪失した場合、使用済燃料が有する崩壊熱により燃料貯蔵プール等の水の温度が上昇し、これが継続すると燃料貯蔵プール等の水の沸騰に至る。この状態において補給水設備による燃料貯蔵プール等への注水ができない場合には、蒸発により燃

燃料貯蔵プール等の水位が低下することで遮蔽機能が低下し、放射線量が増加する。燃料貯蔵プール等の注水機能喪失が継続すると、やがて使用済燃料の有効長頂部が露出し、使用済燃料の損傷に至る。

(2) 想定事故 2 の特徴

燃料貯蔵プール等に接続するプール水冷却系の配管の破断によるサイフォン効果等及びスロッシングにより燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいが発生し、燃料貯蔵プール等の水位が低下する。この状態において、プール水冷却系及び安全冷却水系の冷却機能並びに補給水設備の注水機能が喪失している場合は、使用済燃料が有する崩壊熱により燃料貯蔵プール等の水の温度が上昇し、これが継続すると燃料貯蔵プール等の水の沸騰に至る。また、蒸発により燃料貯蔵プール等の水位が低下することで遮蔽機能が低下し、放射線量が増加する。この状態が継続すると、やがて使用済燃料の有効長頂部が露出し、使用済燃料の損傷に至る。

2. 対処の基本方針

燃料貯蔵プール等の水位の低下による遮蔽機能の低下及び使用済燃料の有効長頂部の露出による、使用済燃料の損傷に至ることを防止するため、喪失した水位の維持機能を代替する設備により燃料貯蔵プール等への注水を行い、水位を維持する。以下、この対策を燃料損傷防止対策という。

3. 具体的対策

3.1 燃料損傷防止対策

燃料貯蔵プール等のプール水冷却系の冷却機能，安全冷却水系の冷却機能及び補給水設備の注水機能の喪失又は燃料貯蔵プール等に接続するプール水冷却系の配管の破断によるサイフォン効果等又はスロッシングにより燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいが発生し，プール水冷却系の冷却機能，安全冷却水系の冷却機能及び補給水設備の注水機能が喪失した場合には，可搬型中型移送ポンプ，可搬型建屋外ホース，可搬型建屋内ホース，弁等を敷設し，これらを接続することで，第1貯水槽又は第2貯水槽から燃料貯蔵プール等へ水を供給するための経路を構築する。

燃料貯蔵プール等の状態監視のため，監視設備を準備する。監視設備を設置するまでの間，燃料貯蔵プール等の状態監視は，実施組織要員により携行型の監視設備にて行う。また，水温上昇に伴い使用済燃料受入れ・貯蔵建屋内の温度が上昇した場合においても，線量率の測定及び燃料貯蔵プール等の状態監視を継続して実施するため，空冷設備を設置する。

想定事故1では，燃料貯蔵プール等の水位は，通常水位（プール底面から11.50m）を目安に注水し，通常水位到達後は，燃料貯蔵プール等の水位を一定範囲に維持するよう，可搬型中型移送ポンプの間欠運転へ切り替え又は注水流量を調整する。

想定事故2では配管破断による燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいの発生及びスロッシングによる燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいの発生を想定している。

配管破断による燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいの発生時は，プール水冷却系配管の破断を想定しており，破断位置により小規模漏えい量が異なる。プール水冷却系配管の吐出し側配管の破断を想定した場合，

サイフォン効果によりプール水が漏えいするものの、サイフォン ブレーカによりサイフォン ブレーカ位置（通常水位-0.45m）において小規模漏えいが停止する。一方、プール水冷却系配管の吸込み側配管の破断を想定した場合、当該配管はプール水面より下にある越流せきに接続されていることから、越流せきを介して小規模漏えいが発生し、プール水面の低下により越流せきに到達することで、越流せき位置（通常水位-0.40m）において小規模漏えいが停止する。想定事故2においては、越流せき水位（通常水位-0.40m）を目安に注水し、越流せき水位到達後は、燃料貯蔵プール等の水位を一定範囲に維持するよう、可搬型中型移送ポンプの間欠運転へ切り替え又は注水流量を調整する。

スロッシングによる燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいの発生時は、配管破断による燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいも発生していると想定されることから、越流せき位置（通常水位-0.40m）を目安に注水し、目安とする水位に到達後は、燃料貯蔵プール等の水位を一定範囲に維持するよう、可搬型中型移送ポンプの間欠運転へ切り替え又は注水流量を調整する。

このため、可搬型中型移送ポンプ、可搬型建屋外ホース、可搬型建屋内ホース、弁等を可搬型重大事故等対処設備として新たに整備する。また、第1貯水槽及び第2貯水槽を常設重大事故等対処設備として新たに設置する。

4. 有効性評価

4.1 代表事例

想定事故 1 では、冷却機能及び注水機能が喪失する範囲並びに環境条件を踏まえた対処内容を考慮し、外的事象の火山を代表事象として選定する。

想定事故 2 は、小規模漏えい量、冷却機能及び注水機能が喪失する範囲並びに環境条件を踏まえた対処内容を考慮し、外的事象の地震を代表事象として選定する。

4.2 代表事例の選定理由

想定事故 1 は、外的事象の火山において発生する安全冷却水系の冷却塔の動的機器の直接的な機能喪失及び電源喪失によるプール水冷却系、安全冷却水系及び補給水設備のポンプ等の動的機器の間接的な機能喪失により、燃料貯蔵プール等において同時に発生する。また、内的事象の長時間の全交流動力電源の喪失において発生するプール水冷却系、安全冷却水系及び補給水設備のポンプ等の動的機器の間接的な機能喪失により、燃料貯蔵プール等において同時に発生する。

外的事象の火山において発生する機能喪失は、冷却塔の動的機器の直接的な機能喪失を含むこと、及び環境条件の悪化も伴うことから、重大事故等への対処は厳しくなる。このため、想定事故 1 の有効性評価で代表とする要因は、外的事象の火山とする。

想定事故 2 は、外的事象の地震において、プール水冷却系配管の破断によるサイフォン効果等により燃料貯蔵プール等の水の漏えいが発生するとともに、地震によるスロッシングにより、燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいが燃料貯蔵プール等で同時に発生する。また、プール水冷却系、

安全冷却水系及び補給水設備のポンプ等の動的機器の直接的な機能喪失及び全交流動力電源喪失による間接的な機能喪失が発生する。内の事象の配管漏えいにおいては、プール水冷却系配管の破断によるサイフォン効果等により燃料貯蔵プール等の水の漏えいが燃料貯蔵プール等で同時に発生する。

外的事象の地震において発生する機能喪失は、プール水冷却系配管の破断に加えて、プール水冷却系、安全冷却水系及び補給水設備のポンプ等の動的機器の直接的な機能喪失、スロッシングによる水位低下が生じること、及び全交流動力電源喪失が同時に発生するため、喪失する機器が多く、その範囲も広い。また、地震は、環境条件の悪化も伴うことから、重大事故等対策としては厳しくなる。このため、想定事故2の有効性評価で代表とする要因は、外的事象の地震とする。

4.3 有効性評価の考え方

燃料貯蔵プール等の水位が低下した場合に、燃料貯蔵プール等への注水を開始することで水位を回復し、水位を一定の範囲に維持できることを確認するため、燃料貯蔵プール等の水位及び水温の推移を評価する。これらの評価は、水の比熱等を用いた簡便な計算により、燃料貯蔵プール等における全ての使用済燃料の燃料有効長頂部を冠水できる水位（通常水位－7.4m）を確保できること及び1作業あたりの被ばく線量の目安である10m S vを確保するために必要な放射線の遮蔽を維持できる水位（通常水位－5.0m）を確保できることを評価する。また、未臨界を維持できることを評価する。

4.4 機能喪失の条件

想定事故 1 の場合、代表事例の選定理由で示したとおり、冷却塔の動的機器の機能喪失並びに外部電源を含めた全交流動力電源の喪失によるプール水冷却系、安全冷却水系及び補給水設備のポンプ等の機能喪失を想定する。

想定事故 2 の場合、代表事例の選定理由で示したとおり、プール水冷却系配管の破断、プール水冷却系、安全冷却水系及び補給水設備のポンプ等の機能喪失並びに全交流動力電源の喪失を想定する。

プール水冷却系配管に逆流防止のため設置されている逆止弁については、異物の噛みこみにより開固着し、逆止弁の機能が十分に働かない状態を想定すると、サイフォンブレーカ孔位置（通常水位－0.45m）まで水位が低下する。その後、スロッシングにより燃料貯蔵プール等の水の漏えいが発生することを想定し、最終的に通常水位－0.80mの位置で水位低下が停止する。

4.5 機器の条件

4.5.1 想定事故 1 の機器の条件

可搬型中型移送ポンプは、1台あたり $240\text{m}^3/\text{h}$ の容量を有し、燃料貯蔵プール等への注水に1台を使用する。燃料貯蔵プール等への注水流量は、貯蔵する使用済燃料の崩壊熱を踏まえて設定した値とし、当該設定値以上で注水する。

燃料貯蔵プール等の初期温度は、運転上許容されるプール水冷却系 1 系列運転時の最高温度である 65°C とする。

燃料貯蔵プール等の初期水位は、通常運転時の管理上の水位の下限値である通常水位－0.05mとする。

燃料貯蔵プール等の使用済燃料は最大貯蔵量を $3,000\text{t} \cdot U_{PR}$ とし、燃

燃料貯蔵プール（PWR燃料用）については、崩壊熱量が大きい冷却期間4年のPWR燃料を最大量 $600 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 及び冷却期間12年のPWR燃料を $400 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 貯蔵した場合の値を、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）については、冷却期間12年のBWR燃料を $1,000 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 貯蔵した場合の値を、燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）については、冷却期間12年のPWR燃料及びBWR燃料をそれぞれ $500 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 貯蔵した場合の値を設定する。このときの燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の崩壊熱量は、それぞれ $2,450 \text{ kW}$ 、 $1,490 \text{ kW}$ 及び $1,480 \text{ kW}$ とする。なお、燃料仮置きピットに使用済燃料が仮置きされる場合、原子力発電所から受け入れた使用済燃料の仮置きを想定するため、冷却期間が4年のBWR燃料及びPWR燃料が仮置きされることとなるが、その量は燃料貯蔵プールに対して十分小さく、保有水量を考慮しても、沸騰時間が燃料貯蔵プールより短くなることはない。また、燃料送出しピットに使用済燃料が仮置きされている場合、前処理建屋でせん断を実施する前の使用済燃料の仮置きを想定するため、冷却期間が15年のBWR燃料及びPWR燃料が仮置きされることとなるが、その量は燃料貯蔵プールに対して十分小さく、また、冷却期間が長いこと崩壊熱量は十分小さい。このため、保有水量を考慮しても沸騰までの時間が燃料貯蔵プールより短くなることはない。さらに、冷却期間4年のBWR燃料とPWR燃料を比較した場合、PWR燃料の崩壊熱量の方が大きくなり、各燃料貯蔵プールの保有水量を考慮しても、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）へ冷却期間4年のPWR燃料を配置することで、沸騰時間が最も短くなり、安全側の評価となる。

水位低下の評価においては、通常運転時の運用を踏まえ、燃料貯蔵プール等が連結されているものとするが、燃料貯蔵プール等の水の沸騰まで

の時間においては、個別の燃料貯蔵プールの保有水量のみを考慮し、燃料貯蔵プール間の熱の移動がないものとして、保守的に温度評価を行うこととし、燃料貯蔵プールからの放熱を考慮しない断熱評価とする。このときの燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の保有水量は、それぞれ約2,453m³、約2,392m³及び約2,457m³とする。また、沸騰後の燃料貯蔵プール等からの蒸発量は約10m³/hとする。

上記で設定した崩壊熱量及び保有量より、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の水の温度が100℃に至るまでの時間は、それぞれ事象発生後約39時間、約63時間及び約65時間とする。

4.5.2 想定事故2の機器の条件

可搬型中型移送ポンプは、1台あたり240m³/hの容量を有し、燃料貯蔵プール等への注水に1台を使用する。燃料貯蔵プール等への注水流量は、貯蔵する使用済燃料の崩壊熱を踏まえて設定した値とし、当該設定値以上で注水する。

燃料貯蔵プール等の初期温度は、運転上許容されるプール水冷却系1系列運転時の最高温度である65℃とする。

燃料貯蔵プール等の初期水位は、通常運転時の管理上の水位の下限值である通常水位-0.05mを基準とし、サイフォン効果等による燃料貯蔵プール等の水の漏えいが発生し水位が低下した後、スロッシングによる燃料貯蔵プール等の水の漏えいによる水位低下が発生すると想定し、通常水位-0.80mとする。なお、スロッシングによる水位低下量算出においては、燃料貯蔵プール等の周辺に設置する止水板の高さを越える溢水は燃料貯蔵

プール等への戻りを考慮しない。また、スロッシングによる溢水を抑制する蓋は、その効果を考慮しない。

燃料貯蔵プール等の使用済燃料は最大貯蔵量を $3,000 \text{ t} \cdot U_{PR}$ とし、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）については、崩壊熱量が大きい冷却期間4年のPWR燃料を最大量 $600 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 及び冷却期間12年のPWR燃料を $400 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 貯蔵した場合の値を、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）については、冷却期間12年のBWR燃料を $1,000 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 貯蔵した場合の値を、燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）については、冷却期間12年のPWR燃料及びBWR燃料をそれぞれ $500 \text{ t} \cdot U_{PR}$ 貯蔵した場合の値を設定する。このときの燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の崩壊熱量は、それぞれ $2,450 \text{ kW}$ 、 $1,490 \text{ kW}$ 及び $1,480 \text{ kW}$ とする。なお、想定事故1と同様に燃料仮置きピットA、燃料仮置きピットB及び燃料送出しピットは考慮せず、また、沸騰時間が最も短くなるように冷却期間4年の使用済燃料はPWR燃料を選択し、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）へ配置する。

水位低下の評価においては、通常運転時の運用を踏まえ、燃料貯蔵プール等が連結されているものとするが、燃料貯蔵プール等の水の沸騰までの時間においては、個別の燃料貯蔵プールの保有水量のみを考慮し、燃料貯蔵プール間の熱の移動がないものとして、保守的に温度評価を行うこととし、燃料貯蔵プールからの放熱を考慮しない断熱評価とする。このときの燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の保有水量は、それぞれ約 $2,229 \text{ m}^3$ 、約 $2,168 \text{ m}^3$ 及び約 $2,233 \text{ m}^3$ とする。また、沸騰後の燃料貯蔵プール等からの蒸発量は約 $10 \text{ m}^3 / \text{h}$ とする。

上記で設定した崩壊熱量及び保有量より、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の水の温度が100℃に至るまでの時間は、それぞれ事象発生後約35時間、約57時間及び約59時間とする。

4.6 操作の条件

想定事故1の場合、燃料貯蔵プール等への代替補給水設備（注水）による注水は、燃料貯蔵プール等が沸騰に至るまでの時間である約39時間に対して、他建屋における蒸発乾固及び水素爆発が同時に発生した場合における重大事故等の対処の優先順位を考慮し、21時間30分後までに注水を開始するものとし、通常水位（プール底面から11.50m）を目安に、間欠的に又は流量を調整しながら注水することで水位を維持するものとする。

想定事故2の場合、燃料貯蔵プール等への代替補給水設備（注水）による注水は、燃料貯蔵プール等が沸騰に至るまでの時間である約35時間に対して、他建屋における蒸発乾固及び水素爆発が同時に発生した場合における重大事故等の対処の優先順位を考慮し、21時間30分後までに注水を開始するものとし、越流せき水位（通常水位-0.40m）を目安に、間欠的に又は流量を調整しながら注水することで水位を維持するものとする。

4.7 判断基準

燃料損傷防止対策の有効性評価の判断基準は、使用済燃料の有効長頂部を冠水できる水位（通常水位-7.4m）を確保できること、放射線を遮蔽できる水位（通常水位-5.0m）を確保できること、及び未臨界を維持できることとする。

5. 有効性評価の結果

5.1 燃料損傷防止対策

5.1.1 想定事故1の燃料損傷防止対策

燃料貯蔵プール等の水の温度が上昇し始め、沸騰に至る前までに代替補給水設備（注水）にて燃料貯蔵プール等への注水を開始する。燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の水の温度が100℃に到達する時間は、それぞれ事象発生後約39時間、約63時間及び約65時間である。これに対し、21時間30分後には注水が開始可能であり、放射線を遮蔽できる水位（通常水位-5.0m）に至る前までに代替補給水設備（注水）による注水が可能である。その後は、通常水位を目安に間欠的に又は流量を調整しながら注水することで、水位を維持可能である。なお、燃料仮置きピットA、燃料仮置きピットB及び燃料送出しピットの水の温度が100℃に到達する時間は、燃料貯蔵プールに対する崩壊熱量が小さく、保有水量を考慮しても燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）よりも沸騰までの時間はさらに長くなる。また、未臨界性の維持については、燃料貯蔵プール等の水の温度が上昇し、沸騰により水密度が低下した場合においても、必要な燃料間距離を確保できることから、燃料貯蔵プール等の未臨界を維持できる。

以上により、想定事故1の有効性評価の結果が本重大事故の燃料損傷防止対策の判断基準を満足している。

5.1.2 想定事故2の燃料損傷防止対策

燃料貯蔵プール等の水の温度が上昇し始め、沸騰に至る前までに代替

補給水設備（注水）にて燃料貯蔵プール等への注水を開始する。燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の水の温度が100℃に到達する時間は、それぞれ事象発生後約35時間、約57時間及び約59時間である。これに対し、21時間30分後には注水が開始可能であり、放射線を遮蔽できる水位（通常水位－5.0m）に至る前までに代替補給水設備（注水）による注水が可能である。その後は、越流せき水位を目安に間欠的に又は流量を調整しながら注水することで、水位を維持可能である。なお、燃料仮置きピットA、燃料仮置きピットB及び燃料送出しピットの水の温度が100℃に到達する時間は、燃料貯蔵プールに対する崩壊熱量が小さく、保有水量を考慮しても燃料貯蔵プール（PWR燃料用）、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）よりも沸騰までの時間はさらに長くなる。また、未臨界性の維持については、燃料貯蔵プール等の水の温度が上昇し、沸騰により水密度が低下した場合においても、必要な燃料間距離を確保できることから、燃料貯蔵プール等の未臨界を維持できる。

以上により、想定事故2の有効性評価の結果が本重大事故の燃料損傷防止対策の判断基準を満足している。

5.2 不確かさの影響評価

5.2.1 事象、事故条件及び機器条件の不確かさの影響

5.2.1.1 想定事故1

内的事象で発生する長時間の全交流動力電源の喪失による想定事故1の場合、初動対応での状況確認やアクセスルート確保等の作業において、火山を要因とした場合と比較して早い段階で重大事故等対策に

着手できるため、対処の時間余裕が大きくなることから、判断基準を満足することに変わりはない。

初期水温は想定される最大値を設定しているが、現実的な条件とした場合には、初期水温はこれよりも小さい値となり、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。このため、燃料貯蔵プール等の水が100℃に到達する前に注水が可能であり、水位低下量は変わらないため、対処の時間余裕が大きくなることから、想定事故1の有効性評価の結果に与える影響はなく、判断基準を満足することに変わりはない。

初期水位として設定している水位低警報レベル（通常水位-0.05m）ではなく、通常水位を用いた場合、水位が高い側への変動となることから、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。このため、燃料貯蔵プール等の水が100℃に到達する前に注水が可能であり、水位低下量は変わらないため、対処の時間余裕が大きくなることから、想定事故1の有効性評価の結果に与える影響はなく、判断基準を満足することに変わりはない。

崩壊熱量は想定される最大値を設定しているが、現実的な条件とした場合には、崩壊熱量は小さくなり、さらに放熱を考慮した評価により、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。このため、燃料貯蔵プール等の水が100℃に到達する前に注水が可能であり、水位低下量は変わらないため、対処の時間余裕が大きくなることから、想定事故1の有効性評価の結果に与える影響はなく、判断基準を満足することに変わりはない。

燃料貯蔵プール等の補修時を想定して、ピットゲート及びプールゲートが設置されている状態において想定事故1が発生した場合、燃料

貯蔵プール（BWR燃料用），燃料貯蔵プール（PWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）が独立した状態となるものの，燃料貯蔵プール等の水が沸騰に至るまでの時間は，燃料貯蔵プールごとの保有水量及び崩壊熱量を設定し評価していることから，沸騰に至るまでの時間は変わることはなく，また，燃料貯蔵プール等の水の蒸発は，ピットゲート及びプールゲートが設置されることにより，各燃料貯蔵プールが独立するため，燃料貯蔵プールごとに発生するが，その蒸発量は崩壊熱量が最も大きい燃料貯蔵プール（PWR燃料用）において約 $4 \text{ m}^3 / \text{h}$ である。この場合，燃料貯蔵プール（PWR燃料用）における水位低下速度が増加するものの，燃料貯蔵プール等の水が沸騰に至る前までに注水の準備を完了し，可搬型中型移送ポンプによる注水を実施し水位を維持することから，想定事故1の有効性評価の結果に与える影響はなく，判断基準を満足することによりは変わらない。

5.2.1.2 想定事故2

内的事象で発生する配管漏えいによる想定事故2の場合，地震を要因としたときに想定する動的機器の機能喪失や全交流動力電源喪失が発生せず，環境悪化も想定されない。また，この場合はサイフォン効果等による燃料貯蔵プール等の水の小規模な漏えいが発生するものの，地震を起因とした場合よりも水位低下量は小さく，燃料貯蔵プール等の水の温度が 100°C に到達するまでの時間は長くなる。このため，燃料貯蔵プール等の水が 100°C に到達する前に注水が可能であり，水位低下量は小さくなるため，対処の時間余裕が大きくなることから，想定事故2の有効性評価の結果に与える影響はなく，判断基準を満足することによりはならない。

い。

初期水温は想定される最大値を設定しているが、現実的な条件とした場合には、初期水温はこれよりも小さい値となり、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。このため、燃料貯蔵プール等の水が100℃に到達する前に注水が可能であり、水位低下量は変わらないため、対処の時間余裕が大きくなることから、想定事故2の有効性評価の結果に与える影響はなく、判断基準を満足することによりは変わらない。

崩壊熱量は想定される最大値を設定しているが、現実的な条件とした場合には、崩壊熱量は小さくなり、さらに放熱を考慮した評価により、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。このため、燃料貯蔵プール等の水が100℃に到達する前に注水が可能であり、水位低下量は変わらないため、対処の時間余裕が大きくなることから、想定事故2の有効性評価の結果に与える影響はなく、判断基準を満足することによりは変わらない。

スロッシングにおける水位低下量の評価においては、燃料貯蔵プール等の周辺に設置する止水板の高さを越える溢水は燃料貯蔵プール等への戻りを考慮しないこと、また、スロッシングによる溢水を抑制する蓋は、その効果を考慮せずに保守的な評価を実施していることから、実際の水位低下量は小さくなり、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。さらに、サイフォン効果等による燃料貯蔵プール等の水の漏えいとスロッシングが同時に発生したと想定した場合の初期水位は通常水位-0.60mとなり、水位が高い側への変動となることから、燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は長くなる。このため、燃料貯蔵プール等の水が100℃に到

達する前に注水が可能であり，水位低下量は小さくなることから，対処の時間余裕が大きくなり，想定事故2の有効性評価の結果に与える影響はなく，判断基準を満足することに変わりはない。

燃料貯蔵プール等の補修時を想定して，各燃料貯蔵プールのピットゲート及びプールゲートが設置されている状態においてスロッシングが発生した場合の溢水量は，燃料貯蔵プール等が連結された状態と異なり，各燃料貯蔵プールのスロッシング後の水位は，通常水位－0.96 mとなる。このときの燃料貯蔵プール（PWR燃料用）の保有水量は約2,181m³，沸騰までの時間は約34時間となり，燃料貯蔵プール（BWR燃料用）の保有水量は約2,120m³，沸騰までの時間は約55時間となり，燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）の保有水量は約2,185m³，沸騰までの時間は約57時間となる。このため，水位低下量大くなり，燃料貯蔵プール等の水の温度が100℃に到達するまでの時間は短くなるものの，代替補給水設備（注水）による注水開始時間は21時間30分後であることから，燃料貯蔵プール等の水が100℃に到達する前に注水が可能であり，想定事故2の有効性評価の結果に与える影響はなく，判断基準を満足することに変わりはない。

5.2.2 操作条件の不確かさの影響

燃料貯蔵プール等への注水等の準備は，燃料貯蔵プール等の冷却機能及び注水機能の喪失をもって着手し，21時間30分後には燃料貯蔵プール等への注水が可能であり，燃料貯蔵プール等の水が沸騰に至るまでの時間に対し，2時間以上の時間余裕をもって完了させる。また，作業計画の整備は，作業項目ごとに余裕を確保して整備しており，必要な時期までに操作できるよう体制を整えていることから，実際の重

大事故等への対処は、より早く作業を完了することができる。また、可搬型中型移送ポンプ等の可搬型重大事故等対処設備の設置等の対処に時間を要した場合や、予備の可搬型重大事故等対処設備による対処を想定したとしても、余裕として確保した2時間以内に対処を再開することができることから、判断基準を満足していることに変わりはない。

また、ピットゲート及びプールゲートが設置されている状態を考慮した場合、燃料貯蔵プール等は連結していないことから、燃料仮置きピット、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）それぞれに注水し水位を維持する必要がある。なお、燃料送出しピットは燃料移送水路と連結していることから、ピットゲート及びプールゲートが設置されることによる影響はない。

この場合、可搬型建屋内ホースを燃料仮置きピット、燃料貯蔵プール（BWR燃料用）、燃料貯蔵プール（PWR燃料用）及び燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）ごとに個別に敷設する必要があることから、敷設に係る作業時間が長くなるものの、ピットゲート及びプールゲートが設置されている状態はあらかじめ分かっていることから、建屋内ホースの運搬が完了した時点で可搬型建屋内ホースの敷設を実施することで、これまでと同じ21時間30分後から注水を実施可能である。

6. 同時発生及び連鎖

6.1 重大事故等の事象進展，事故規模の分析

本重大事故の事象進展，事故規模の分析により明らかとなった平常運転時からの状態の変化等は，燃料貯蔵プール等の水の温度上昇，蒸気の発生による湿度の上昇である。具体的には，プール水の温度上昇については，通常時は未沸騰状態であるが，事故時には沸騰状態となり，最大でも100℃程度である。湿度の上昇については，発生する蒸気により，多湿環境となる。

これらの平常運転時からの状態の変化等を考慮した同時発生する重大事故等の重大事故対策に与える影響及び連鎖して発生する可能性のある重大事故等は以下のとおりである。

6.2 重大事故等の同時発生

重大事故等が同時に発生する場合については，同種の重大事故が同時に発生する場合，異種の重大事故が同時に発生する場合及びそれらの重畳が考えられる。

本重大事故は，燃料貯蔵プール等の水位の低下が継続した場合には，使用済燃料を仮置き又は貯蔵する燃料仮置きピット，燃料貯蔵プール（BWR燃料用），燃料貯蔵プール（PWR燃料用），燃料貯蔵プール（BWR燃料及びPWR燃料用）及び燃料送出しピットで使用済燃料が損傷する事故が同時に発生する可能性があり，本評価は同時発生するものとして評価した。

本重大事故と同時発生する可能性のある異種の重大事故は，「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定（要旨）」に示すとおり，外的事象の「地震」及び「火山」，内的事象の「長時

間の全交流動力電源の喪失」により、安全冷却水系、安全圧縮空気系、プール水冷却系及び補給水設備が同時に機能を喪失することから、冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素による爆発である。

各重大事故等の重大事故等対策は互いに異なる対策であり、各重大事故等対策が競合することはなく、また、重大事故等対策に使用する設備も重大事故等ごとに専用の設備を整備することから、設備が競合することはない。

以上より、各重大事故等対策の有効性評価は、重大事故等が同時発生した場合であっても個別に評価することが可能であるが、各重大事故等が発生した場合の事故影響が相互に与える影響を考慮する必要がある。

本重大事故及び冷却機能の喪失による蒸発乾固の相互影響については、本重大事故が発生する燃料貯蔵プール等と高レベル廃液等の沸騰が発生する貯槽等は異なる建屋に位置しており、互いの事故影響が当該バウンダリを超えて波及することはないことから、これらの重大事故等対策の有効性評価結果は、単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、各々の重大事故等対策が阻害されることはない。

本重大事故及び放射線分解により発生する水素による爆発の相互影響については、本重大事故が発生する燃料貯蔵プール等と水素爆発が発生する貯槽等は異なる建屋に位置しており、互いの事故影響が当該バウンダリを超えて波及することはないことから、これらの重大事故等対策の有効性評価結果は、単独で重大事故等が発生した場合と同じであり、各々の重大事故等対策が阻害されることはない。

同種と異種の重大事故の同時発生が重畳した場合の大気中への放射性物質の放出量については、「2.7 重大事故が同時に又は連鎖して発生した

場合の対処（要旨）」において評価し、対処に必要な要員及び燃料等については、「2.8 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において評価している。

6.3 重大事故等の連鎖

臨界事故への連鎖については、燃料貯蔵プール等において講じられている臨界事故に係る安全機能は、同位体組成管理であるが、相互間隔を適切に維持したラック等に使用済燃料を収納することで臨界事故の発生を防止しており、燃料貯蔵プール等の温度、圧力、その他のパラメータ変動を考慮しても、臨界事故に係る安全機能が喪失することはない。

また、燃料貯蔵プール等の水の沸騰による事故影響が、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋のバウンダリを超えて、その他の臨界管理が実施されている前処理建屋、分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に波及することはないことから、臨界事故の発生は考えられない。

他建屋における冷却機能の喪失による蒸発乾固への連鎖については、想定事故1及び想定事故2が発生する燃料貯蔵プール等及び高レベル廃液等の沸騰が発生する貯槽等は異なる建屋に位置し、燃料貯蔵プール等の水の温度上昇による事故影響が、燃料貯蔵プール等のバウンダリを超えて波及することは想定されないことから、冷却機能の喪失による蒸発乾固は生じない。

放射線分解により発生する水素による爆発への連鎖については、燃料貯蔵プール等の水の温度上昇により、水素の発生量が増加するものの、沸騰により発生する大量の水蒸気によって可燃限界濃度以下になるとともに、代替補給水設備（注水）の可搬型建屋内ホースの敷設に伴う建屋の開口か

ら、水蒸気とともに水素が排出されることから、建屋内に水素が蓄積することはなく、水素による爆発は生じない。

他建屋における水素掃気機能の喪失による水素爆発への連鎖については、想定事故 1 及び想定事故 2 が発生する燃料貯蔵プール等及び水素爆発が発生する貯槽等は異なる建屋に位置し、燃料貯蔵プール等の水の温度上昇による事故影響が、燃料貯蔵プール等のバウンダリを超えて波及することは想定されないことから、水素掃気機能の喪失による水素爆発の発生は考えられない。

有機溶媒等による火災又は爆発への連鎖については、想定事故 1 及び想定事故 2 が発生する燃料貯蔵プール等及び T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する貯槽等は異なる建屋に位置し、また、燃料貯蔵プール等では有機溶媒を扱わないことから、T B P 等の錯体の急激な分解反応又は有機溶媒火災の発生は考えられない。

他建屋における有機溶媒等による火災又は爆発への連鎖については、想定事故 1 及び想定事故 2 が発生する燃料貯蔵プール等及び有機溶媒等による火災又は爆発が発生する貯槽等は異なる建屋に位置し、燃料貯蔵プール等の水の温度上昇による事故影響が、燃料貯蔵プール等のバウンダリを超えて波及することは想定されないことから、有機溶媒等による火災又は爆発の発生は考えられない。

放射性物質の漏えいへの連鎖については、燃料損傷防止対策実施時の燃料貯蔵プール等の水の状態を考慮しても、その他の放射性物質の漏えいの発生は想定されないことから、その他の放射性物質の漏えいの発生は考えられない。

7. 必要な要員及び資源

外的事象の「地震」及び「火山」を要因として想定事故1及び想定事故2の燃料損傷防止対策を実施する場合には、「2.1 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定（要旨）」に示すとおり、「冷却機能の喪失による蒸発乾固」及び「放射線分解により発生する水素による爆発」に対しても同時に対処することとなる。このため、重大事故等対処に必要な要員及び燃料等の成立性については、それぞれの対処に必要な数量を重ね合わせて評価する必要がある、「2.8 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において評価している。

7.1 要員

本重大事故における燃料損傷防止対策に必要な要員は、想定事故1及び想定事故2ともに、燃料貯蔵プール等の冷却等の機能喪失を受けて対応することとなっており、想定事故1、想定事故2に因らず合計で53名である。

想定事故1において内的事象を要因とした場合は、作業環境が火山を要因とした場合に想定される環境条件より悪化することが想定されず、対処内容にも違いがないことから、必要な要員は火山を要因とした場合に必要人数以下である。

想定事故2において内的事象を要因とした場合は、作業環境が地震を要因とした場合に想定される環境条件より悪化することが想定されず、対処内容にも違いがないことから、必要な要員は地震を要因とした場合に必要人数以下である。

事業所内に常駐している実施組織要員は164名であり、必要な作業対応が可能である。

7.2 水源

想定事故 1 の場合、代替補給水設備（注水）による燃料貯蔵プール等への注水に必要な水量は、7 日間の対応を考慮すると、合計約 $1,600\text{m}^3$ の水が必要となる。

想定事故 2 の場合、代替補給水設備（注水）による燃料貯蔵プール等への注水に必要な水量は、7 日間の対応を考慮すると、合計約 $2,300\text{m}^3$ の水が必要となる。

水源として、第 1 貯水槽の一区画に約 $10,000\text{m}^3$ の水を保有しており、これにより、必要な水源は確保可能である。

7.3 電源

監視設備及び可搬型空冷ユニットへの給電は、専用の可搬型発電機を敷設するため、対応が可能である。

7.4 燃料

燃料貯蔵プール等の冷却等の機能喪失へ対処するための措置を 7 日間継続して実施するのに必要な軽油は、合計で約 17m^3 である。

軽油貯蔵タンクにて約 400m^3 の軽油を確保していることから、外部支援を考慮しなくとも 7 日間の対処の継続が可能である。

同時発生及び連鎖の有効性評価 要旨

1. 重大事故等の同時発生

1.1 同時発生が想定される重大事故等の種類と想定する条件

重大事故等の同時発生の範囲を考慮すると、外的事象の「地震」又は「火山」を条件とした場合が最も多くの重大事故等の発生が想定され、また、外的事象の「地震」が重大事故等の発生の条件として最も厳しいことから、重大事故等の同時発生の有効性評価は、外的事象の「地震」を代表事例として、「冷却機能の喪失による蒸発乾固」、「放射線分解により発生する水素による爆発」及び「燃料貯蔵プール等の冷却等の機能喪失（想定事故2）」の同時発生を対象に実施する。

1.2 重大事故等が同時発生した場合の有効性評価の範囲

各重大事故等の重大事故等対策は、互いに異なる対策であり、各重大事故等対策が競合することはない。また、重大事故等対策に使用する設備も、重大事故等ごとに専用の設備を整備することで、設備が競合することはない。

以上より、各重大事故等対策の有効性評価は、重大事故等が同時発生した場合であっても、個別に評価することが可能であるが、各重大事故等が発生した場合の事故環境が相互に与える影響を考慮する必要があるが、これらについては「2.3 冷却機能の喪失による蒸発乾固への対処（要旨）」、「2.4 放射線分解により発生する水素による爆発への対処（要旨）」及び「2.6 使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷防止に係る対処（要旨）」に記載したとおりであり、各重大事故等対策が互いにの事故影響によって阻害されることがなく、有効に機能することを確認している。

一方、大気中への放射性物質の放出量に着目した場合、冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素爆発が同時に発生すると、大気中への放射性物質の放出量が増加することから、重大事故等の同時発生の大気中への放射性物質の放出量を評価する。

1.3 有効性評価

1.3.1 有効性評価の考え方

放射性物質の放出量評価として、重大事故等が同時発生した際の拡大防止対策の実施状況を踏まえて、貯槽等から気相に移行する放射性物質の量、放出経路における低減割合を考慮し、事態収束までの大気中へ放出する放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を評価する。

1.3.2 機能喪失の条件

代表事例において、基準地震動の1.2倍の地震動を入力した場合においても必要な機能を損なわない設計としていないものは、機能喪失するものとし、動的機器については耐震性によらず機能喪失を想定する。

また、代表事例では、外部電源を含めた全交流動力電源の喪失を想定しているため、追加での機能喪失は想定しない。

1.3.3 放出量評価に関する機器条件及び操作条件

沸騰及び水素爆発による放射性物質の移行形態は、互いに異なるメカニズムであり、重大事故等が同時発生した場合であっても、放射性物質の移行形態が変わるものではないことから、放射性物質の移行割合は、単独発生の場合と同じである。

また、放出経路における放射性物質の低減割合は、冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素爆発の事故影響に対して所定の性能を発揮でき、冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素爆発が同時に発生した場合であっても性能が劣化するものではないことから、単独発生の場合と同じである。

冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素爆

発に対して実施する代替セル排気系等の準備及び実施は、重大事故等が同時発生することを前提として整備したものであることから、重大事故等が同時発生した場合においても同じである。

1.3.4 判断基準

冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素爆発の発生による放射性物質の放出量の合計がセシウム-137換算で100TBqを下回るものであって、かつ、実行可能な限り低いこと。

1.4 有効性評価の結果

1.4.1 大気中への放射性物質の放出量

重大事故ごとの大気中への放射性物質の放出量は、重大事故等が同時発生した場合でも単独発生の場合と同じであり、全ての建屋の冷却機能の喪失による蒸発乾固及び放射線分解により発生する水素爆発による放出量を合計した場合、合計約 2×10^{-3} TBq となり、100 TBq を下回るものであって、かつ、実行可能な限り低い。

1.4.3 不確かさの影響評価

1.4.3.1 事象、事故条件及び機器条件の不確かさの影響

想定事象の違いが有効性評価結果に与える影響は、単独発生、同時発生の想定に因らないことから、単独発生の場合と同様に評価結果は変わらず、判断基準を満足することに変わりはない。

高レベル廃液等の組成、濃度及び崩壊熱密度は、重大事故等の同時発生を前提とした場合であっても、想定される最大値を設定する等、厳しい結果を与える条件で評価をしており、安全余裕を排除したより現実的な条件とした場合には、より安全余裕が確保されることから、判断基準を満足することに変わりはない。

事態の収束までの大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）については、気相中に移行する放射性物質の移行割合や放出経路における放射性物質の除染係数に不確かさがあるものの、その幅は、各パラメータにおいて1桁程度であり、100 TBq に対する事態が収束するまでの主排気筒から大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）の寄与割合に与える影響が大きくないため、判断基準を満足することに変わりはない。

1.4.3.2 操作条件の不確かさの影響

各作業の作業項目は、余裕を確保して計画し、重大事故等が同時発生した場合であっても、必要な時期までに操作できるよう体制を整えていることから判断基準を満足していることに変わりはない。

1.5 必要な要員及び資源

同時発生が想定される各重大事故等の必要な要員及び資源は、各重大事故における必要な要員及び資源に記載したとおりである。

重大事故等対処に必要な要員及び燃料等の成立性については、それぞれの対処に必要な数量を重ね合わせることに加え、重大事故等の対処に付帯して実施されるその他の作業に必要な要員及び資源を考慮して評価する必要があることから、「2.9 必要な要員及び資源の評価（要旨）」において、関連する全ての作業を考慮した際の要員及び資源の有効性を評価する。

2. 重大事故等の連鎖

連鎖して発生する重大事故等の整理は、起因となる重大事故等の事故影響によって、他の重大事故等の発生を防止している安全機能が喪失するか否か及び互いの重大事故等対策を阻害せず、有効に機能することを事象毎に確認する。また、特定にあたっては、溶液の性状等の変化に伴って健在化する可能性のある現象に留意する。想定する事故時の環境条件は、「温度」、「圧力」、「湿度」、「放射線」、「物質（水素、蒸気、煤煙、放射性物質、その他）及びエネルギーの発生」、「転倒・落下による荷重」及び「腐食環境」を考慮する。

2.1 臨界事故

臨界事故の発生が想定される貯槽等である2建屋、6機器2貯槽の全てに対して連鎖の検討を実施した。その結果、「2.2 臨界事故への対処（要旨）」において記載した通り、想定される事故時環境において、臨界事故の発生が想定される機器に接続する安全機能を有する機器が、損傷又は機能劣化することはなく、他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

2.2 冷却機能の喪失による蒸発乾固

蒸発乾固の発生が想定される5建屋、13機器グループ、53貯槽の全てに対して連鎖の検討を実施した。その結果、「2.3 冷却機能の喪失による蒸発乾固への対処（要旨）」において記載した通り、想定される事故時環境において、蒸発乾固の発生が想定される機器に接続する安全機能を有する機器が、損傷又は機能劣化することはなく、他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

2.3 放射線分解により発生する水素による爆発

放射線分解により発生する水素による爆発が想定される5建屋、5機器グループ、52貯槽の全てに対して連鎖の検討を実施した。その結果、「2.4 放射線分解により発生する水素による爆発への対処（要旨）」において記載した通り、想定される事故時環境において、蒸発乾固の発生が想定される機器に接続する安全機能を有する機器が、損傷又は機能劣化することではなく、他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

2.4 有機溶媒等による火災又は爆発（TBP等の錯体の急激な分解反応）

有機溶媒等による火災又は爆発（TBP等の錯体の急激な分解反応）が想定される1建屋、1機器に対して連鎖の検討を実施した。その結果、「2.5 有機溶媒等による火災又は爆発（TBP等の錯体の急激な分解反応）への対処（要旨）」において記載した通り、想定される事故時環境において、蒸発乾固の発生が想定される機器に接続する安全機能を有する機器が、損傷又は機能劣化することではなく、他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

2.5 使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷

使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷が想定されるが想定される1建屋、1機器に対して連鎖の検討を実施した。その結果、「2.6 使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷防止に係る対処（要旨）」において記載した通り、想定される事故時環境において、使用済燃料貯蔵槽における燃料損傷の発生が想定される機器に接続する安全機能を有する機器が、損傷又は機能劣化することではなく、他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

2.6 分析結果

重大事故等の発生が想定される貯槽等の全てに対して連鎖の検討を実施した。上述の通り，何れの重大事故等においても想定される事故時環境において，貯槽等に接続する安全機能を有する機器が，損傷又は機能劣化することではなく，他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

圧縮空気自動供給貯槽の圧力低下及び機器内の温度上昇

1. はじめに

圧縮空気自動供給貯槽からの圧縮空気の供給が継続すると、沸騰が想定される機器において水素発生量が増加した場合に圧縮空気の供給量が不足し、未然防止濃度未満を維持するための機能へ悪影響を及ぼす可能性がある。ここでは、圧縮空気自動供給貯槽による圧縮空気供給機能への悪影響を防止するための設計について整理する。

2. 圧縮空気自動供給貯槽による圧縮空気供給機能への悪影響について

図 1 の系統概要のとおり、圧縮空気自動供給貯槽と機器圧縮空気自動供給ユニットは、水素掃気用の圧縮空気供給源を代替する観点から、いずれも水素掃気用配管に接続する設計としている。

圧縮空気自動供給貯槽は、水素掃気用配管の圧力が低下した場合、圧縮空気自動供給貯槽と水素掃気用配管の圧力差により圧縮空気を供給する設計としている。

一方、機器圧縮空気自動供給ユニットは、水素掃気用配管の圧力が 0.4MPa に低下した際に、通常閉止となっている空気作動弁が機械的に全開となり、圧縮空気を供給する設計としている。従って、圧縮空気自動供給貯槽の圧力が 0.4MPa に低下しなければ、機器圧縮空気自動供給ユニットは作動しない。

圧縮空気自動供給貯槽は圧力差で圧縮空気を供給することから、時間経過と共に圧縮空気流量が低下する。このため、機器内の水素発生量が増加する前に、機器圧縮空気自動供給ユニットからの供給へ切り替え、圧縮空気流量を増加させる必要がある。

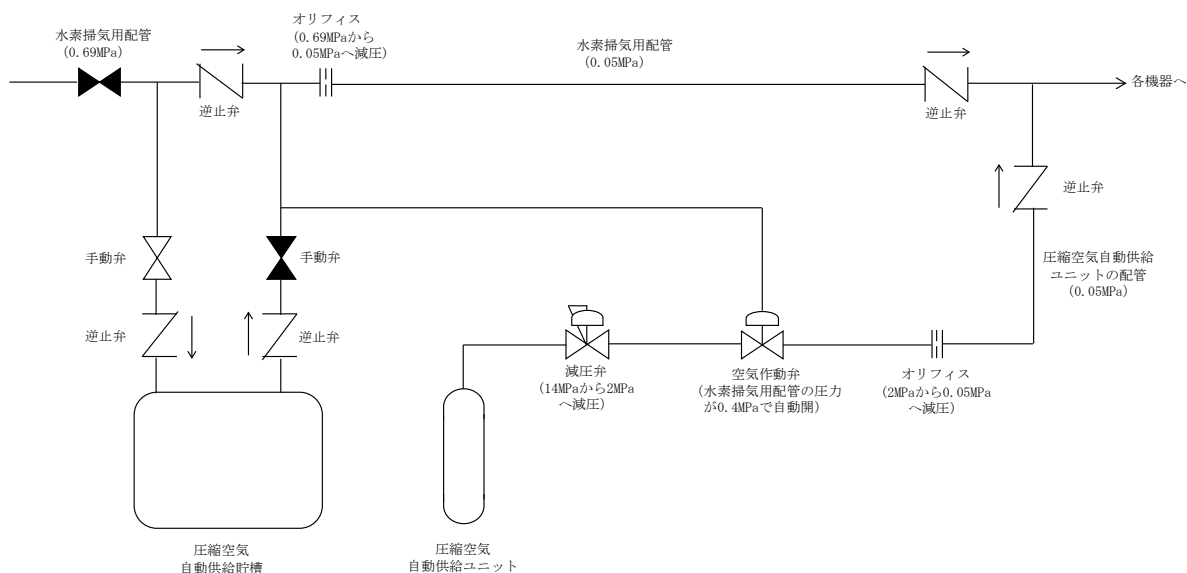


図1 圧縮空気自動供給貯槽と機器圧縮空気自動供給ユニットの系統概要図

3. 圧縮空気自動供給貯槽による圧縮空気供給機能への悪影響の防止設計

圧縮空気自動供給貯槽による圧縮空気供給機能への悪影響を防止するため、圧縮空気自動供給貯槽からの圧縮空気を手動で遮断できる設計とする。これにより、圧縮空気自動供給貯槽から機器圧縮空気自動供給ユニットへの切り替えを確実なものとする。

精製建屋の圧縮空気自動供給貯槽の圧力とプルトニウム濃縮液一時貯槽の温度変化の関係を以下の図2に示す。

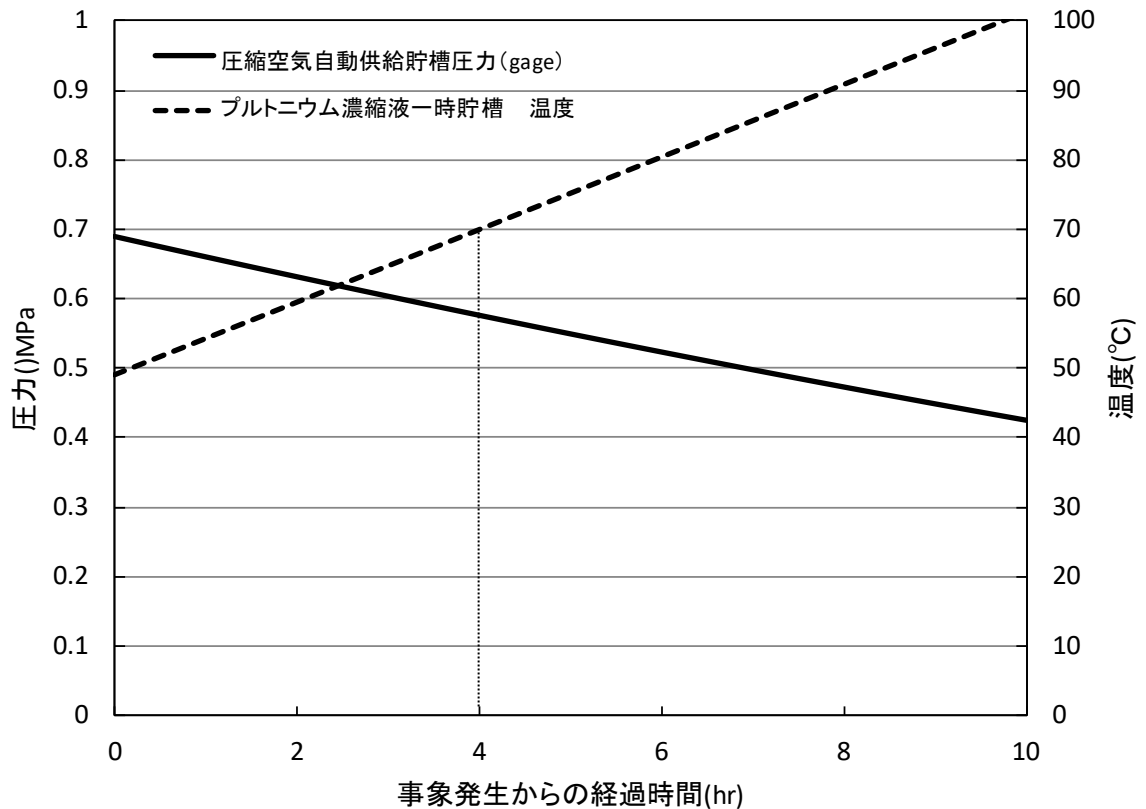


図2 精製建屋の圧縮空気自動供給貯槽の圧力と
プルトニウム濃縮液一時貯槽の温度変化の関係

(付録：圧縮空気自動供給貯槽の圧力減少の計算方法)

水素掃気機能が喪失した直後に、圧縮空気自動供給貯槽から供給される圧縮空気流量を初期圧縮空気流量とする。圧縮空気の供給に伴い圧縮空気自動供給貯槽の圧力が減少し、供給される空気流量も減少する。圧縮空気自動供給貯槽からの供給開始後1分毎の圧力の減少は下式により求める。

$$\Delta P = P_0 \times \frac{F_{serve}}{60} \times \frac{1}{V} \times \frac{T + 273.15}{273.15}$$

ここで、

ΔP : 同一の空気流量で圧縮空気を1分間供給したときの圧力の減少量 (MPa)

補足 1-3

P_0 : 大気圧 (MPa), 0.1013MPa

F_{serve} : 圧縮空気自動供給貯槽から供給される建屋入口での圧縮空気流量 (m^3/h)

V : 圧縮空気自動供給貯槽の体積 (m^3)

T : 圧縮空気自動供給貯槽内の空気温度 ($^{\circ}C$)

圧縮空気自動供給貯槽からの圧縮空気は、オリフィスにより減圧し、減圧後の圧力で各機器に必要な圧縮空気が流れる設計としている。圧縮空気自動供給貯槽の圧力によって、オリフィスにおける空気の流れが乱流となることから、流量と圧力の関係式である以下の式から、圧力減少に伴う空気供給流量の減少を求める。

$$F'_{serve} = F_{serve} \times \left(\frac{P_{header} - \Delta P}{P_{header}} \right)^{1/2}$$

ここで、

F'_{serve} : 圧縮空気自動供給貯槽から供給される減圧後の各建屋入口での圧縮空気流量 (m^3/h)

P_{header} : 圧縮空気自動供給貯槽の圧力 (MPa)

圧縮空気自動供給貯槽から供給される減圧後の各建屋入口での圧縮空気流量が水素爆発を想定する機器内の水素濃度を8vol%以下に維持できる圧縮空気を供給するために必要な建屋入口での圧縮空気流量を下回るまで圧力減少及び供給流量減少の評価を繰り返し、圧縮空気自動供給貯槽から水素爆発を想定する機器に圧縮空気の供給が継続される時間を求める。

水素発生量が増加する可能性のある温度を 70°C とした根拠について

水素発生量の温度依存性については、文献において報告がある。

Kuno らは、硝酸プルトリウム溶液からの α 線による見かけの水素発生 G 値を調査しており、25°C と 70°C において見かけの水素発生 G 値に温度依存性がないとしている（表 1 参照）[1]。水素の測定にあたっては、容器の外部に 50Hz のバイブレータを取り付けて容器を振動させて水素を気相中へ追い出した上で測定を行っており、4 回の繰り返し測定による見かけの水素発生 G 値の平均値と平均偏差を算出している。

Sheppard も、硝酸プルトリウム溶液からの α 線による見かけの水素発生 G 値を調査しており、10.5°C、25°C 及び 34°C において温度依存性がないことを報告している。水素の測定にあたっては、溶液のかくはんによる水素の追い出し操作は行っていないが、数十日の時間をかけて気相中へ移行した水素を測定しているものと推察される（表 2 参照）[2]。

一方、中吉らは、硝酸溶液への γ 線照射による見かけの水素発生 G 値について、温度の上昇に伴い増加するという報告をしている（図 1 参照）[3]。ただし、この見かけの水素発生 G 値については、溶液を静置した状態で気相部に自然放出される水素に関して整理した値である。また、中吉らは、 γ 線照射後に静置し、その後溶液をかくはんすることにより気相中へ移行する水素の量が増加することを報告している（図 2 参照）[3]。

以上を踏まえると、放射線分解により発生する水素の温度依存性は極めて小さく、気相中へ移行する水素量から算出される見かけの水素発生 G 値は、溶液のかくはん状態に影響を受けるところが大きいと考えられる。

このため、水素発生量が増加する可能性のある溶液の状態としては、溶液のかくはん効果が顕著に現れる沸騰後と考えるが、安全側に、文献において見かけの水素発生G値が変わらないことが報告されている 70°Cを超えた場合に、水素発生量の増加を考慮する。

表 1 水素発生に与える溶液温度の影響※1 (参考文献[1]を基に作成)

G (H ₂) at 25°C	G (H ₂) at 70°C※2	G (H ₂) at 70°C※3
0.36±0.01	0.36±0.01	0.35±0.01

- ※1 Pu 濃度 10.0 g/L, 硝酸濃度 0.6 M
Pu(VI)濃度は70°Cにおいて全Pu濃度の45%
G(H₂)は4回の繰り返し測定における平均値±平均偏差
- ※2 溶液の温度を70°Cに維持
- ※3 溶液の温度を70°Cから25°Cに冷却

表 2 水素発生に与える溶液温度の影響 (参考文献[2]を基に作成)

温度 (°C)	G (H ₂), 硝酸濃度 4 M
10.5°C	0.054
25.0°C	0.059
34.0°C	0.058

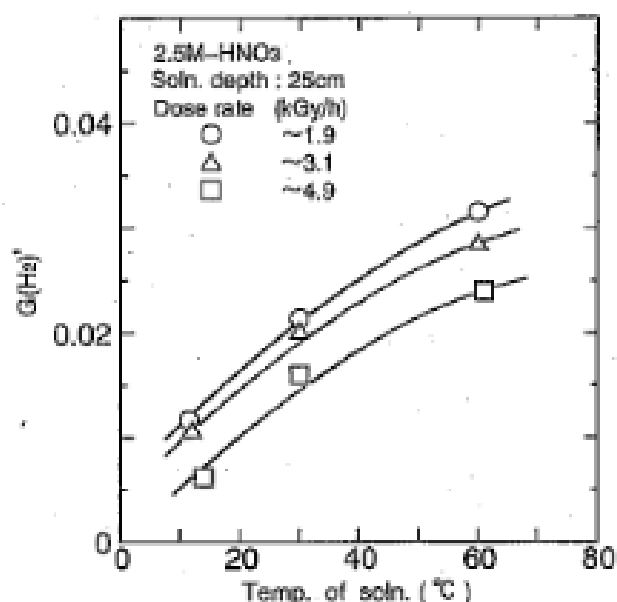


Fig. 7. Plots of $G(H_2)'$ against temperature of solution

図 1 水素発生に与える溶液温度の影響[3]
補足 2-2

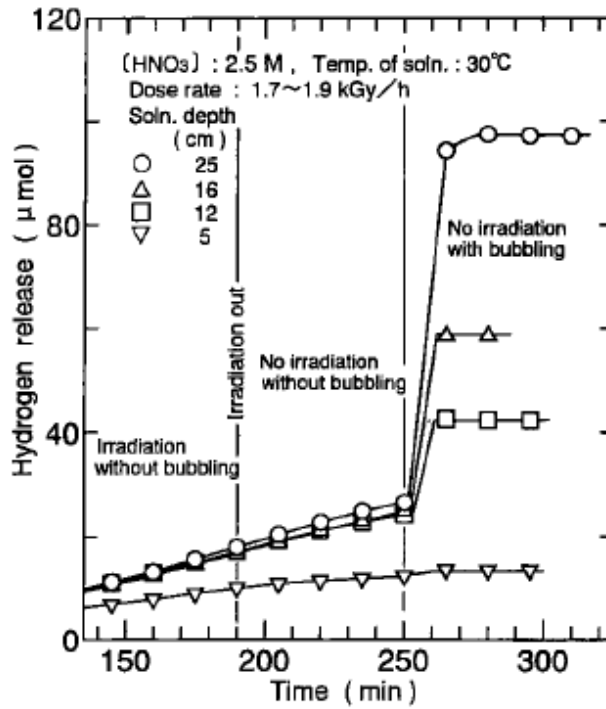


Fig. 3 Change in hydrogen release with time

図2 水素放出に与えるかくはんの影響[3]

[1] Y. Kuno, T. Hina, J. Masui, "Radiolitically generated hydrogen and oxygen from plutonium nitrate solution," J. Nucl. Sci. Technol., 30, 919 (1993).

[2] J.C. Sheppard, ALPHA RADIOLYSIS OF PLUTONIUM (IV)- NITRIC ACID SOLUTIONS, BNWL-751, (1968).

[3] 中吉ら, 高レベル廃液からの放射線分解発生水素量の評価, (II) 静置状態の硝酸水溶液から放出される水素量の液深依存性, 日本原子力学会誌, Vol. 37, No. 12, (1995)

溶液温度が 70°C を超過した場合の水素発生 G 値を 5 倍とした根拠について

溶液の攪拌及び沸騰状態の G 値への影響を調査するため、純水、硝酸溶液及び模擬高レベル廃液を用いて、 γ 線照射試験を行った。

1. 攪拌状態における水素発生 G 値測定試験

図 1 に示す試験装置を用いて、高レベル模擬廃液、純水をエアスターラーで攪拌しつつ、 γ 線照射を行い、気相部に発生した水素量から見かけの水素発生 G 値を評価した。

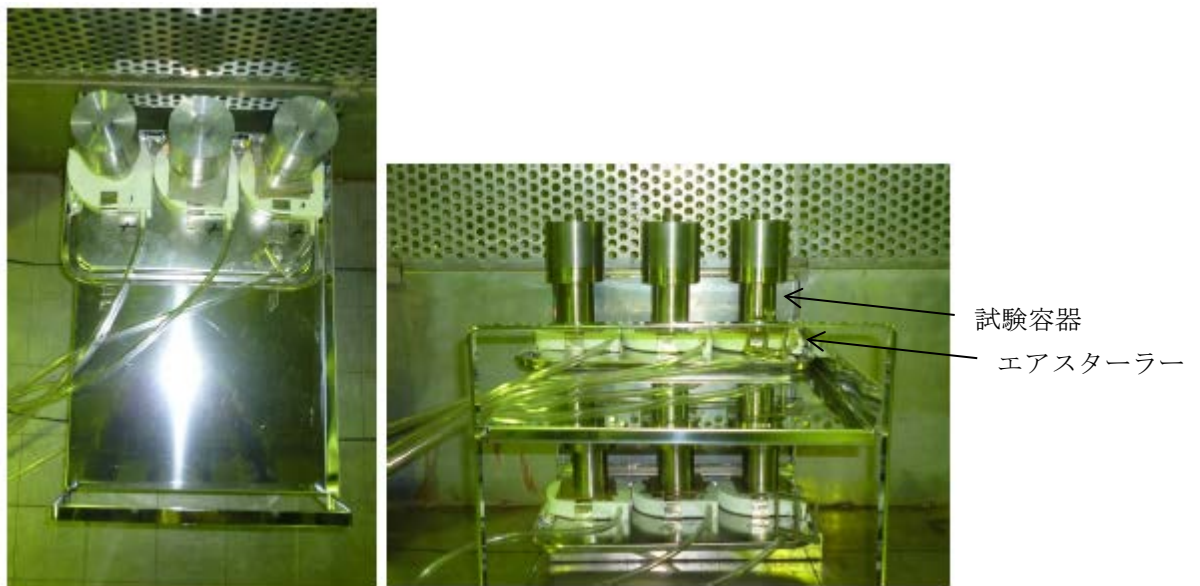


図 1. 攪拌状態における水素発生 G 値測定試験装置

2. 沸騰状態における見かけの水素発生 G 値測定試験

図 2 に示す試験装置を用いて、純水、高レベル模擬廃液、2 mol/L 硝酸、7 mol/L 硝酸を加熱し、沸騰状態の溶液に対して γ 線照射を実施した。

同様の溶液について、静置状態で照射試験を行い、非沸騰時と沸騰時で見かけの水素発生G値を比較した。

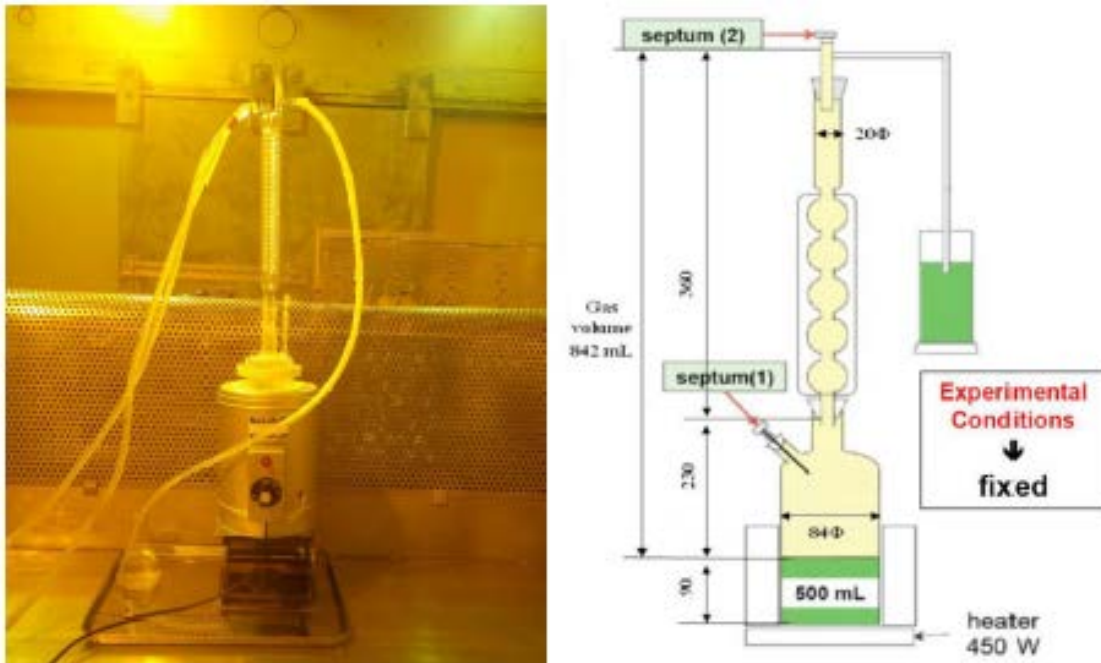


図 2. 沸騰状態における水素発生G値測定試験装置

3. 試験結果

試験結果の一覧を表 1 に示す。

水の場合で静置状態と沸騰状態の比は 2 倍以下となる。一方、模擬高レベル廃液の場合、静置状態と沸騰状態の比は 4.2 倍となる。また、硝酸溶液の場合、3.5 倍となっている。

表 1: γ 線照射試験における見かけの水素発生G値

試験溶液		①純水			②模擬高レベル廃液			③硝酸		
濃度	NO_3^- [mol/L]	—			3.4			2.1	7.4	
状態		静置	攪拌	沸騰	静置	攪拌	沸騰	静置	沸騰	沸騰
G 値		0.078	0.14	0.1	0.0015	0.0029	0.0063	0.024	0.082	0.026

評価に用いている水素発生G値は、非沸騰の値として、純水で 0.45、高レベル廃液で 0.006、2 mol/L の硝酸の場合で 0.053、7 mol/L の硝酸の

場合で 0.019 を用いている。評価に用いている水素発生 G 値を 2 倍することで、沸騰時の G 値を包含できる。しかし、上述の静置状態と沸騰状態の比を勘案して、沸騰時の G 値は静置状態の 5 倍として設定する。