

東海再処理施設の安全対策に係る廃止措置計画認可変更申請対応について

令和2年12月3日
再処理廃止措置技術開発センター

○ 令和2年12月3日 面談の論点

- 資料1 再処理施設の内部溢水の影響評価について
- 資料2 LWTFに係るこれまでの試験結果の概要と今後の対応について
- 東海再処理施設の安全対策に係る面談スケジュール(案)について
- その他

以上

再処理施設の内部溢水の影響評価について

令和2年12月3日

再処理廃止措置技術開発センター

1. 概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、地震対策や津波対策と同様、施設内での溢水（以下「内部溢水」という。）に対して、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう対策を講ずることとしている。

現在、廃止措置変更認可申請（令和2年8月）の溢水影響評価の基本方針に従い、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置 構造及び設備の基準に関する規則（以下「性能維持基準規則」という。）第九条（溢水による損傷の防止等）」の要求事項を踏まえた、保守的な溢水量の設定において、溢水影響評価を行い、同時に機能喪失するおそれがある防護対象設備について、防護対策の検討を実施している。これまでの検討状況について、以下に示す。

2. 溢水源及び溢水量の設定

溢水影響評価に係る溢水源として、内部溢水ガイドに基づき、以下の溢水源を想定している。

- (1) 想定する機器の破損により生じる溢水（想定破損による溢水）
- (2) 拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水（消火水等の放水による溢水）
- (3) 地震に起因する機器の破損等により生じる溢水（地震起因による溢水）
- (4) その他の要因（竜巻飛来物の影響）により生じる溢水（その他の溢水）

2. 1 想定破損による溢水

(1) 想定破損における溢水源の想定

想定破損による溢水は、内部溢水ガイドを参考に、一系統における単一の機器の破損を想定し、溢水源となり得る機器は流体を内包する配管とし、配管の破損箇所を溢水源として想定する。

(2) 想定破損における溢水量の設定

想定する破損箇所は溢水防護対象設備への溢水影響が最も大きくなる位置とし、溢水量は、保守的に系統の保有水量での評価を実施する。

2. 2 消火水等の放水による溢水

(1) 消火水等の放水による溢水源の想定

評価対象となる溢水防護対象設備が設置されている建家内において、水を使用す

る消火設備として、消火栓を溢水源として考慮する。また、TVFにおいては消火活動に使用する設備として連結散水栓があるため、これらについて放水による溢水影響を評価する。

ただし、電気室等においては、電気設備に溢水影響を及ぼすことがないように、消火器等の水を用いない消火手段で消火活動を行う。

(2) 消火水等の放水による溢水量の設定

消火設備等からの単位時間当たりの放水量と放水時間から溢水量を設定する。消火設備等のうち、消火栓からの放水量については、130L/分での2系統の放水量を考慮する。連結散水栓はTVFの地下階に設置されているが、260L/分の散水量と散水ヘッドの個数を考慮し、各フロアで散水量が最も多い1系統を考慮する。

また、消火時間については、原則3時間の放水により想定される放水量を溢水量として設定する。ただし、火災源が小さい場合は、日本電気協会電気技術指針「原子力発電所の火災防護指針(JEAG4607-2010)」解説-4-5(1)の規定による「火災荷重」及び「等価火災時間」を用いて放水量を算定し、溢水量を設定する。この場合、等価火災時間は、保守的に30分単位で切り上げて評価する。

2. 3 地震起因による溢水

(1) 地震起因による溢水源の想定

地震起因による溢水については、廃止措置計画用設計地震動によって損傷しないと評価しているものについては、地震起因による溢水源から除外する。具体的には、HAW施設及びTVFの高放射性廃液を内包する機器、配管、冷却水配管等が該当する。

一方で、廃止措置計画用設計地震動による地震力に対する耐震性が確認されていない系統の配管は破損するものとし、溢水源として想定する。

ただし、廃止措置計画用設計地震動に対する耐震性が確認されていない機器等についても、耐震評価により耐震性が確保されると確認できたものについては、溢水源から除外できるものとする。

(2) 地震起因による溢水量の設定

溢水量の算出に当たっては、溢水が生じるとした機器について、溢水防護対象設備への溢水の影響が最も大きくなるように評価する。溢水源となる系統については全保有水量を考慮した上で、流体を内包する機器のうち、基準地震動によって破損が生じる可能性のある機器及び配管について破損を想定し、溢水量を評価する。

2. 4 その他の溢水

地震起因による機器、配管の損傷以外にも、巻飛来物による施設への影響において、TVFの屋上スラブは竜巻飛来物により貫通までには至らないが亀裂が発生するおそれがあることを考慮し、施設内への溢水を想定する。

3. 防護対象設備について

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、内部溢水に対しても、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう対策を講ずることとしている。内部溢水に対して安全機能を維持すべき対象設備は、別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」で示した崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を担う設備とする。

4. 溢水防護区画及び溢水経路の設定

4. 1 溢水防護区画の設定

溢水防護に対する評価対象区画を溢水防護区画として設定する。評価対象区画は溢水防護対象設備が設置されている部屋を単位としている。溢水防護区画の設定例を図-1に示す。

溢水防護区画は、壁、扉等によって他の区画と分離される区画として設定し、溢水防護区画を構成する壁、扉等については、現場の設備等の設置状況を踏まえ、溢水影響評価において溢水の伝播を考慮する。

4. 2 溢水経路の設定

溢水影響評価において考慮する溢水経路は、溢水防護区画とその他の区画との間における伝播経路となる扉及び壁等の開口部及び貫通部等を考慮し、溢水防護区画内の水位が最も高くなるよう評価する。

（1）溢水防護区画内での溢水

溢水防護区画内で発生する溢水に対しては、開口部、扉等から他区画への流出は想定せず、より厳しい結果を与える条件で溢水経路を設定し、溢水防護区画内の溢水水位を算出する。

ただし、以下の場合には当該扉から他区画への流出を考慮する。

- ・扉等に明確な開口部がある、または明確な開口部を設ける場合は、対策として開口部からの流出を考慮できるものとする。
- ・消火活動において防汚区画内に消火栓がなく、区画外の消火栓を用いて当該区画の扉を開放して消火活動を行う場合

（2）溢水防護区画外での溢水

溢水防護区画外で発生する溢水に対しては、開口部、扉等を通じた溢水防護区画内への流入が最も多くなるよう（溢水経路において防護区画へ至るまでの分岐する経路への流出は考慮しない）、溢水経路を設定し、溢水防護区画内の溢水水位を算出する。なお、上層階から下層階への伝播に関しては、階段等を経由して、全量が伝播するものとする。

なお、消火活動により区画の扉を開放する場合は、開放した扉からの消火水の伝播を考

慮する。

5. 溢水影響評価

5. 1 評価に用いる各項目の算出

(1) 機能喪失高さの設定

機能喪失高さについては、溢水防護対象設備の設置状況を踏まえ、没水によって安全機能を損なうおそれのある高さを設定する。

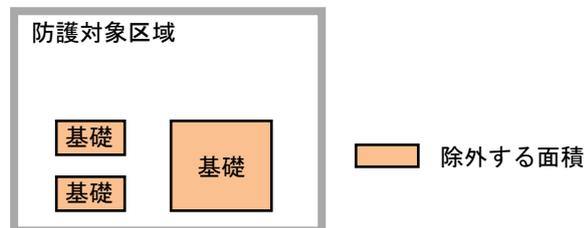
また、容器、熱交換機等の静的機器については、没水することで直ちに機能喪失しないものの、没水した場合に、その没水高さによる影響について評価する必要がある場合を考慮し、影響評価の基準となる高さとして設定することとした。機能喪失高さの設定を表-1 に示す。

表- 1 機能喪失高さの設定

機器	機能喪失高さ
容器、熱交換機等の静的機器	当該機器の下端
ポンプ、排風機等	電動機下端
自動弁	弁本体の下端
漏えい検知装置	圧カスイッチの下端
フィルタ類	ポート下端
盤(床置き)	下部枠材の上端
盤(壁掛け)	ケーシング下端

(2) 滞留面積の設定

防護対象区域の没水高さの算出に必要な防護対象区域の滞留面積は、保守的に区画面積から区画内の基礎面積を減じた面積とする。



5. 2 影響評価

防護対象設備に対する没水、被水、蒸気の各溢水影響について、以下のとおり評価する。

(1) 没水影響

- ・没水影響については、没水高さが機能喪失高さを上回る場合に防護対象設備に没水影響があるものと評価する。
- ・その場合の没水影響について、没水高さに基づく影響評価により、防護対象設備に影響が無いと評価できるものは、没水した場合でも没水影響を受けないと評価する。

(2) 被水影響

- ・被水影響については、溢水源と防護対象機器の間に被水防止板等の障害物が無ければ距離によらず被水するものとする。
- ・防護対象設備が被水した場合の影響について、防滴仕様（水の飛沫による影響を受けない保護等級(IP コード) 4以上相当）である設備は被水により損傷しないと評価する。また、水の飛沫による影響を受けるおそれのない鋼製の容器、熱交換機等についても被水による影響はないと評価する。

(3) 蒸気影響

- ・蒸気影響については、防護対象設備がある区画内に蒸気配管がある場合、または隣接区域から開口部を通じた蒸気の流入が想定される場合には想定破損、地震起因の破損による蒸気漏えいにより防護対象設備に蒸気影響があるものと評価する。
- ・その場合の蒸気影響について、蒸気漏えい量に基づく評価により、防護対象設備に影響が無いと評価できるものは、蒸気配管がある場合でも蒸気影響を受けないと評価する。

6. 溢水防護対策について

保守的な溢水量の想定において、防護対象設備に溢水影響があると評価された項目について、安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることを防止するため、溢水源、もしくは防護対象機器に対して以下のいずれかの対策を講じる。

- ・2系統が共に機能喪失に至ると評価された溢水源に対して、ガイドに基づく想定破損の応力評価、または基準地震動に対する応力評価を実施し、溢水源から除外できるかを評価する。許容応力を満足できないものについては補強対策により溢水源とならないよう対策を行う。
- ・被水影響により機能喪失に至るおそれのあるものは、被水防止板、被水防止カバー、被水防止シートの設置、もしくは耐候仕様とする等の対策を行う。なお、電気盤等の電気設備の消火には水を用いない手段で消火活動を行う。
- ・没水影響により機能喪失に至るおそれのあるものは、堰を設置する等の対策を実施す

る。没水高さによっては、堰の設置が困難となる状況も想定されることから、隣接区画との境界の扉等に明確な開口部を設けることにより、没水高さを低減する対策も考慮する。

- ・蒸気影響等，建家外からの供給が継続することでの溢水影響により機能喪失に至るおそれがあるものは，供給停止操作を行うよう対策する。また，必要に応じて供給停止操作に必要な手動弁，遮断弁を設置する。

なお，安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち，溢水影響に耐えるように対策することが困難又は合理的でない場合においては，代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備等により閉じ込め及び崩壊熱除去に必要な安全機能が維持できるようにする。

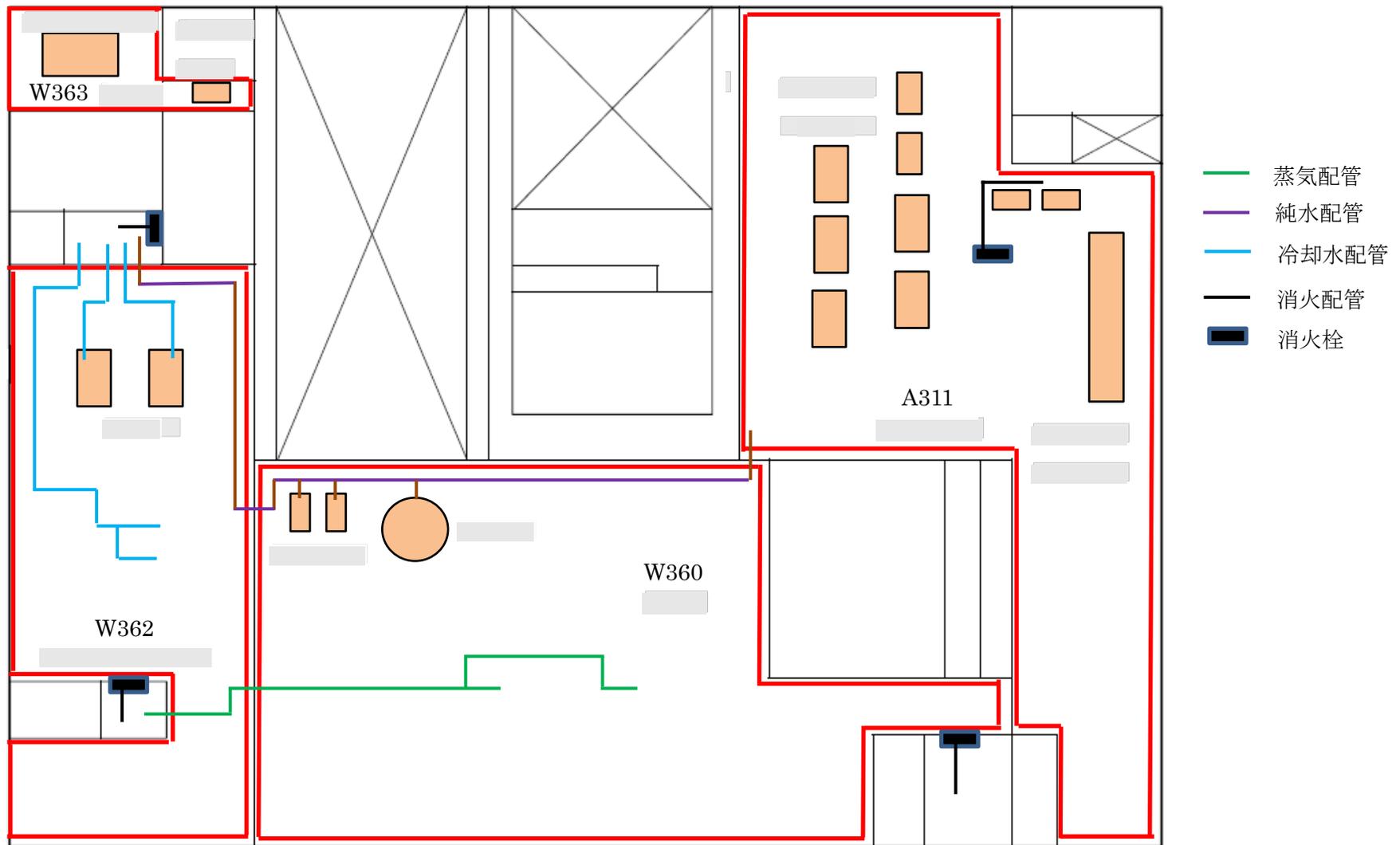
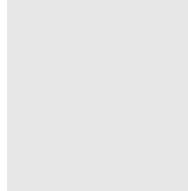


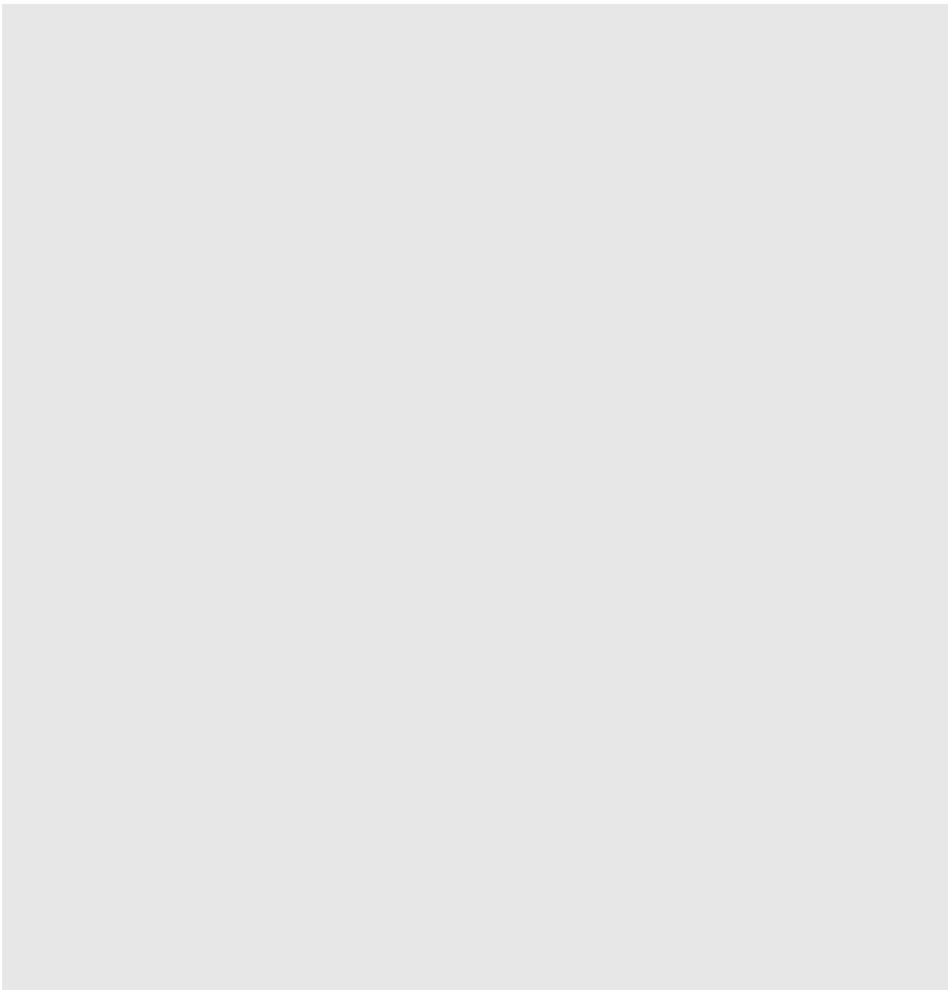
図-1 溢水防護区画の設定例

HAW施設の溢水対策の整理表

防護対象設備	設置場所	溢水影響	対策	
高圧受電盤 低圧配電盤	電気室 W461	<ul style="list-style-type: none"> ・当該室に溢水源はない。 ・隣接区域での想定破損、地震起因による破損、消火活動による溢水(没水)により機能喪失のおそれがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電気盤、又は境界扉周辺での堰の設置対策を検討する。 ・破損を想定する配管については、溢水源となる配管について応力評価し、必要に応じて補強対策の検討。 	 <p>堰設置のイメージ</p>
動力分電盤	電気室 G355			
制御室内設置盤	制御室 G441			
緊急電源(端子箱)	屋上	屋上での想定破損、地震起因による破損、消火活動による溢水(没水)により機能喪失のおそれがある。	架台等による端子箱の嵩上げ	 <p>架台設置のイメージ</p>
1次冷却水ポンプ	熱交換器室 G341～G352	<ul style="list-style-type: none"> ・当該区域での想定破損、地震起因による破損、消火活動による溢水(没水)により1系統が機能喪失するおそれがある。 ・隣接区画(G358)へ流出させることで、2系統は同時機能喪失しない。(別添-1参照) 	隣接区画に積極的に流出させるための扉の改造	 <p>開口部設置のイメージ</p>
槽類換気系排風機	操作室 A421	当該区域(A421)における蒸気配管からの蒸気影響を保守的に想定した場合に、機能喪失のおそれがある。	<ul style="list-style-type: none"> ・A421の蒸気配管について、想定破損、耐震に係る応力評価 ・応力評価、影響評価結果に基づき、配管補強、応力低減対策を検討。 	-
セル換気系排風機	排気機械室 A422	隣接区域(A421)における蒸気配管からの蒸気影響を保守的に想定した場合に、機能喪失のおそれがある。		
電磁弁	排気機械室 A422			
緊急電源接続盤	廊下 G449	当該区域(G449)における蒸気配管からの蒸気影響を保守的に想定した場合に、機能喪失のおそれがある。	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気配管(空調、温水の用途)については使用しない対策。 ・蒸気配管(液移送)は想定破損、耐震の応力評価。 ・応力評価、影響評価結果に基づき、配管補強、応力低減対策を検討。 	-
2次冷却水ポンプ	屋上	屋上における蒸気配管からの蒸気影響を保守的に想定した場合に、機能喪失のおそれがある。	空調系の蒸気配管は使用しない対策	-
冷却塔	屋上			
浄水ポンプ	屋上			

HAW 施設の熱交換器室における扉の設置状況について

熱交換器室 G341 で発生した溢水により、2系統が同時に機能喪失するおそれがあるかを評価する上で、隣接する区画への流出を考慮する。この場合の経路としては、G341→G342 の他に、G341→G358 があり、扉 C には開口部が無い一方で、扉 A には通気口があることから、G341 から G358 への流出についても考慮できるとしている。



扉 A 及び扉 B の形状

扉 C の形状

表-2 HAW施設の溢水影響評価整理表

安全機能	防護対象設備	設置場所	設備の機能喪失を想定する高さ(m)	没水影響評価								被水影響		蒸気影響			評価結果	対策(見直し)		
				想定破損				地震起因				消火活動		被水防護	機能喪失	防護対象の設置区域			隣接区域	安全機能への影響
				没水高さ(m)	安全機能への影響	没水高さ(m)	機能喪失	没水高さ(m)	安全機能への影響	没水高さ(m)	安全機能への影響									
閉じ込め	高放射性廃液貯槽	R001~R006	1.33	0.18	無	0.32	無	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)		(セル内の漏えいは検知し、速やかな停止操作)			
	中間貯槽	R008	0.57	0.45	無	0.78	有	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)	・当該区域での純水配管等の破損を想定した場合に、容器の設置高さに至る。	セル内の漏えいは検知し、速やかな停止操作			
	分配器	R201、R202	1.3	溢水源なし	無	溢水源なし	無	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気源なし	無 (静的機器:SUS容器)					
	水封槽	R008	5.9	0.45	無	0.78	無	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)					
	ドリフトレイ	R001~R006	148m3※1	11.7	セル内への流入なし	無	20.2	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)	※1トレイの容積				
		R008	36m3※1	11.7	セル内への流入なし	無	20.2	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)					
		R201、R202	7.8m3※1	溢水源なし	セル内への流入なし	無	溢水源なし	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気源なし	無 (静的機器:SUS容器)	当該トレイは集積部からドレンする構造				
	高放射性廃液貯蔵セル	R001~R006	148m3※1	11.7	セル内への流入なし	無	20.2	無	無	無	OK (構築物:コンクリート)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	OK (構築物:コンクリート)	ドリフトレイで評価(セルからの流出なし)	(セル内の漏えいは検知し、速やかな停止操作)			
	中間貯蔵セル	R008	36m3※1	11.7	セル内への流入なし	無	20.2	無	無	無	OK (構築物:コンクリート)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	OK (構築物:コンクリート)	ドリフトレイで評価(セルからの流出なし)				
	分配器セル	R201、R202	7.8m3※1	溢水源なし	セル内への流入なし	無	溢水源なし	無	無	無	OK (構築物:コンクリート)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	OK (構築物:コンクリート)	ドリフトレイで評価(セルからの流出なし)				
	洗浄塔	R007	9.43	0.70	セル内への流入なし	無	0.87	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)					
	除湿器	R007	14.47	0.70	セル内への流入なし	無	0.87	無	無	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり	無 (静的機器:SUS容器)					
	電気加熱器	A421	0.33	0.09	0.13	無	0.19	0.25	無	0.28	0.14	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	無 (静的機器:SUS缶体)			
	フィルタ(槽類換気系)	A421	0.5	0.09	0.13	無	0.19	0.25	無	0.28	0.14	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	無 (静的機器:SUS缶体)			
	ヨウ素フィルタ	A421	0.45	0.09	0.13	無	0.19	0.25	無	0.28	0.14	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	無 (静的機器:SUS缶体)			
	冷却器	A421	2.15	0.09	0.13	無	0.19	0.25	無	0.28	0.14	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	無 (静的機器:SUS缶体)			
	排風機(槽類換気系)	操作室A421	0.36	0.09	0.13	無	0.19	0.25	無	0.28	0.14	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	有	・当該区域での蒸気配管の破損を想定した場合に、機能喪失のおそれがある。	・蒸気配管は想定破損、耐震の応力評価。 ・応力評価、影響評価結果に基づき、補強対策を検討する。	
	排気フィルタ(セル換気)	フィルタ室A322	0.6	溢水源なし	0.09	無	溢水源なし	0.22	無	0.22	0.15	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (開口部無し)	無			
	電磁弁(W503/W504)	排気機械室A422	1	0.14	0.1	無	0.14	0.31	無	0.08※1	0.23	無	NG	有	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に開口部有り)	有	・当該の被水を想定した場合に、機能喪失のおそれがある。 ・当該区域での蒸気配管の破損を想定した場合に、機能喪失のおそれがある。	・被水防止カバー等の設置 (蒸気対策はA421と同じ)	
	排風機(セル換気)	排気機械室A422	0.33	0.14	0.1	無	0.14	0.31	無	0.08※1	0.23	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に開口部有り)	有	・隣接区域から蒸気流入を想定した場合に、機能喪失のおそれがある。 ※1:消火活動時において隣接区域への流出を考慮	・蒸気配管(A421)は想定破損、耐震の応力評価。 ・応力評価、影響評価結果に基づき、補強対策を検討する。	
スチームジェット	R001~R006	1.07	0.18	セル内への流入なし	無	0.32	セル内への流入なし	無	消火放水なし(セル内)	セル内への流入なし	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (流入なし)	無 (静的機器:SUS管体)				
	R008	0.97	0.45	セル内への流入なし	無	0.78	セル内への流入なし	無	消火放水なし(セル内)	セル内への流入なし	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (流入なし)	無 (静的機器:SUS管体)				
漏えい検知装置	G444	1.6	溢水源なし	0.09	無	溢水源なし	0.48	無	0.36	0.1	無	OK (溢水源なし)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に開口部無し)	無				
トランスミッタラック	G444	1.6	溢水源なし	0.09	無	溢水源なし	0.48	無	0.36	0.1	無	OK (溢水源なし)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に開口部無し)	無				
崩壊熱除去	1次冷却水ポンプ(272P3161)	G341 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.12(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無	※1:2系統の同時機能喪失を評価する上で、隣接区画(G342等)及び扉に開口部があるG358(廊下)へ積極的に流出させるための境界扉の改修への流出を考慮し評価している。		
	1次冷却水ポンプ(272P3162)	G342 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	2.0	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3261)	G343 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3262)	G344 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3361)	G345 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3362)	G346 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3461)	G347 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3462)	G348 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3561)	G349 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3562)	G350 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3661)	G351 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	1次系冷却水ポンプ(272P3662)	G352 熱交換器室	0.3	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	熱交換器	G341 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	熱交換器	G342 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	熱交換器	G343 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
	熱交換器	G344 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無			
熱交換器	G345 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無				
熱交換器	G346 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無				
熱交換器	G347 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無				
熱交換器	G348 熱交換器室	0.4	1.43	0.09(※1)	無	0.74	0.05(※1)	無	0.4	0.02(※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無				

熱交換器	G349 熱交換器室	0.4	1.43	0.09 (※1)	無	0.74	0.05 (※1)	無	0.4	0.02 (※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無		
熱交換器	G350 熱交換器室	0.4	1.43			0.74			0.4			OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし			
熱交換器	G351 熱交換器室	0.4	1.43	0.09 (※1)	無	0.74	0.05 (※1)	無	0.4	0.02 (※1)	無	OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無		
熱交換器	G352 熱交換器室	0.4	1.43			0.74			0.4			OK (静的機器:SUS管体)	無	蒸気源なし	蒸気源なし			
1次系予備送水ポンプ (272P3061)	G353 圧空製造室	0.27	0.19	0.10	無	破損配管なし	0.17	無	0.05 ※1	0.15	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	無	※1:消火活動時において隣接区域への流出を 考慮	
OK (防滴仕様)												蒸気源なし		蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)				
ガンマボット	G341 熱交換器室	0.73	1.43	0.09 (※1)	無	0.74	0.05 (※1)	無	0.4	0.02 (※1)	無	OK (静的機器:SUS容器)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無	※1:2系統の同時機能喪失を評価する上 で、隣接区画(G342)及び扉に開口部がある G358への流出を考慮し評価している。	
二次冷却水ポンプ	屋上	0.52	0.05	0.05	無	0.07	0.07	無	0.06	0.02	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気配管あり	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	有	保守的に、蒸気漏えいによる安全機能への 影響が想定される。	空調系の蒸気は使用しない対策で、溢水源から除 外する。
			0.05	0.05	無	0.07	0.07	無	0.06	0.02	無							
			0.05	0.05	無	0.07	0.07	無	0.06	0.02	無							
冷却塔	屋上	0.32	0.05	0.05	無	0.07	0.07	無	0.06	0.02	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気配管あり	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	有		
浄水ポンプ	屋上	0.46	0.05	0.05	無	0.07	0.07	無	0.06	0.02	無	OK (防滴仕様)	無	蒸気配管あり	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	有		
浄水貯槽	屋上	0.32	0.05	0.05	無	0.07	0.07	無	0.06	0.02	無	無 (静的機器:SUS容器)	無	蒸気配管あり	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	無 (静的機器:SUS容器)		

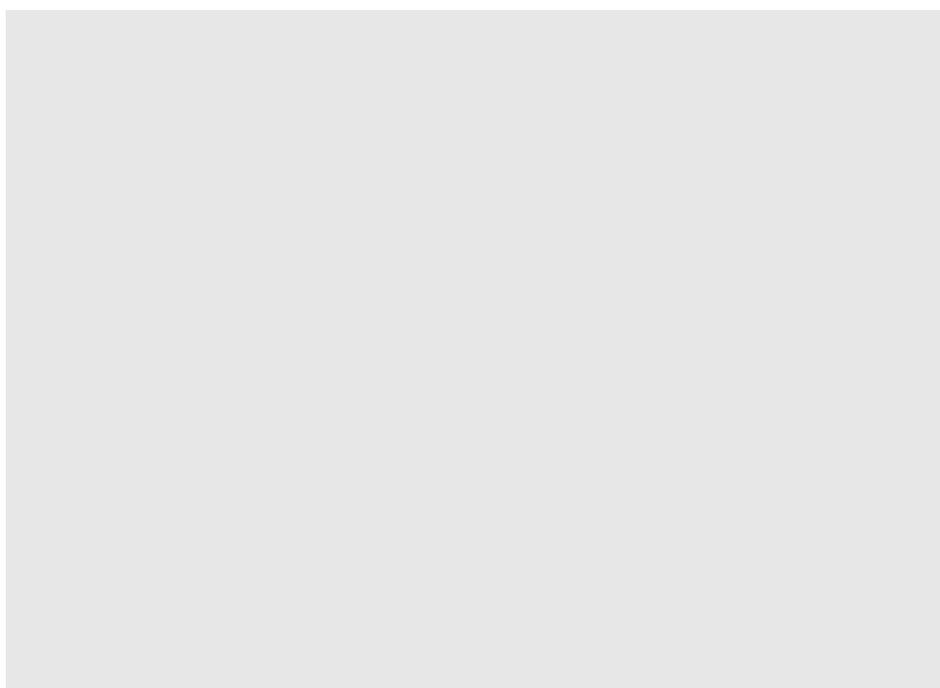
電源設備	高圧受電盤(第6変電所)	W461 電気室	0.06	溢水源なし	0.24	有	溢水源なし	0.29	有	※1	0.12	有	OK (溢水源なし)	無	蒸気源なし	蒸気源なし	無	・隣接区域での想定破損、地震起因による 破損、消火活動による溢水(没水)により、機 能喪失のおそれがある。 ※1:電気設備の消火には、水を用いない 手段により消火活動を行う。	・電気盤、又は境界扉周辺での堰の設置対策につ いて検討する。 ・溢水源となる配管について、応力評価に基づき、 溢水源からの除外を検討する。
	低圧配電盤(第6変電所)												OK (溢水源なし)						
	動力分電盤(HM1)	G355 電気室	0.06	溢水源なし	0.09	有	溢水源なし	0.22	有	※1	0.15	有	OK (溢水源なし)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	無	・隣接区域での想定破損、地震起因による 破損、消火活動による溢水(没水)により、機 能喪失のおそれがある。 ※1:電気設備の消火には、水を用いない 手段により消火活動を行う。	・電気盤、又は境界扉周辺での堰の設置対策につ いて検討する。 ・溢水源となる配管について、応力評価に基づき、 溢水源からの除外を検討する。
	動力分電盤(HM2)												OK (溢水源なし)						
電気・計装	制御室内設置盤 (プロセスNo.1~5)	G441 制御室	0.08	溢水源なし	0.13	有	溢水源なし	0.63	有	※1	0.2	有	OK (溢水源なし)	無	蒸気源なし	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	無	・隣接区域での想定破損、地震起因による 破損、消火活動による溢水(没水)により、機 能喪失のおそれがある。 ※1:電気設備の消火には、水を用いない 手段により消火活動を行う。	・電気盤、又は境界扉周辺での堰の設置対策につ いて検討する。 ・溢水源となる配管について、応力評価に基づき、 溢水源からの除外を検討する。
事故対処	水封槽	R007	9.1	0.7	セル内への 流入なし	無	0.87	セル内への 流入なし	無	消火放水なし (セル内)	セル内への 流入なし	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (流入なし)	無 (静的機器:SUS容 器)	(セル内の漏えいは検知し、速やかな停止操作)	
	水封槽	R007	10.5	0.7		無	0.87	セル内への 流入なし	無		OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (流入なし)	無 (静的機器:SUS容 器)	(セル内の漏えいは検知し、速やかな停止操作)			
	緊急放出系フィルタ	操作室 A421	0.7	0.09	0.13	無	0.19	0.34	無	0.28	0.14	無	OK (静的機器:SUS缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	無 (静的機器:SUS缶体)		
	緊急電源接続盤	G449 廊下	0.3 (堰の設置)	0.11	0.1	無	0.18	0.17	無	※1	0.16	無	OK (被水防止板)	無	蒸気配管あり	蒸気配管あり (A421壁貫通)	有	・当該区域での蒸気配管の破損を想定した 場合に、機能喪失のおそれがある。 ・蒸気配管(液移送)は想定破損、耐震の応力評 価。 ・応力評価、影響評価結果に基づき、補強対策を検 討する。 ※1:電気設備の消火には、水を用いない 手段により消火活動を行う。	
	緊急電源接続盤 (端子箱)	屋上	0	0.05	0.05	有	0.07	0.07	有	0.06	0.06	有	OK (静的機器:鋼製缶体)	無	蒸気配管あり	蒸気源あり (境界扉に 開口部無し)	OK (静的機器:鋼製缶体)	・床に設置されていることから想定破損、地 震起因による破損、消火活動による溢水 (没水)により、機能喪失のおそれがある。 架台等による端子箱の嵩上げ	

一次冷却水ポンプの溢水影響評価について (配管の想定破損を溢水源とした評価例)

H A W施設の崩壊熱除去機能に係る防護対象設備である一次冷却水ポンプを例に、配管の想定破損を溢水源とした一次冷却水ポンプへの溢水影響評価の評価例を以下に示す。

1. 溢水防護区画の設定

一次冷却水ポンプに対する防護区画を設定する。防護区画は溢水防護対象設備が設置されている部屋を単位としている。溢水防護区画の設定を以下に示す。



2. 想定破損による溢水影響について

2. 1 防護区画内(G341)での溢水

① 溢水源及び溢水量の設定

一次冷却水ポンプ(P3161)が設置されている熱交換器室(G341)において、溢水源となり得る配管は、以下の4種類である。各系統の保有水量については、配管の寸法と長さから算出した値に10%の裕度を見込んで評価している。

二次冷却水系については、3ループ中の1ループを常時使用している。単一の破損を想定する想定破損において、1ループの破損を想定した保有水量で評価している。

熱交換機室(G341)における溢水源となる配管

系統	保有水量(m ³)
一次冷却水系	23.4
一次冷却水予備系	13.1
二次冷却水系	28.4
純水系	14.7

② 防護区画内(G341)での溢水影響評価

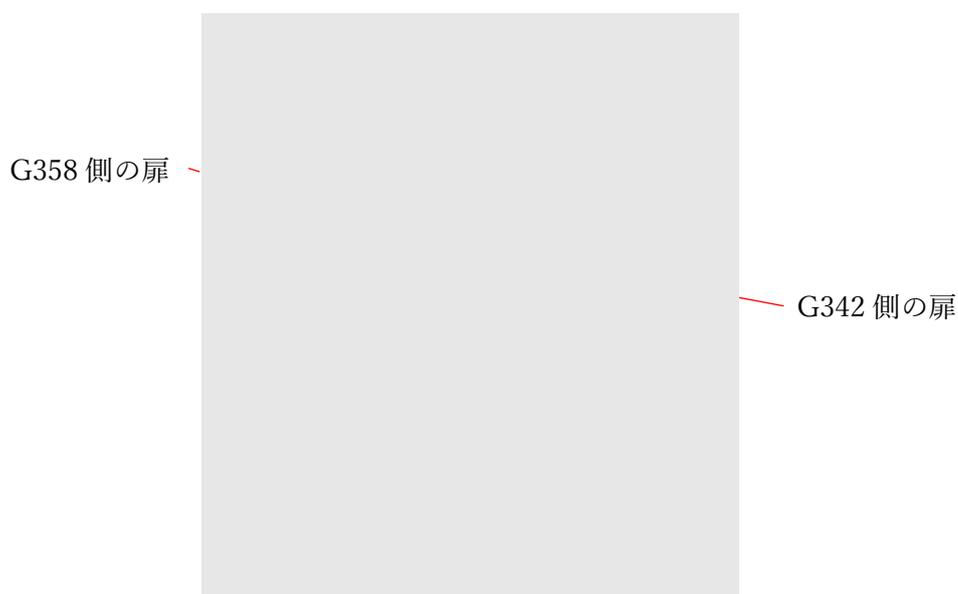
熱交換器室(G341)での溢水量(28.4 m³)に対して、防護区画の滞留面積(19.85 m²)(区画面積(22.2 m²)から基礎面積(2.35 m²)を除いた値)で評価した G341 での没水高さは 1.43 m と評価され、ポンプの電動機下端位置で測定した機能喪失高さ(0.3 m)を上回ることから、2 系統あるポンプの 1 系統が機能喪失すると評価する。

③ 2 系統の同時機能喪失に係る溢水影響評価

一次冷却水ポンプについては、2 系統が別々の防護区画に設置されていることから、2 系統が同時に機能喪失するおそれがあるか評価する上で、G341 から隣接する区画への流出を考慮し影響評価する。

G341 から G342 のみへ流出するとした保守的な想定においては、没水高さは機能喪失高さを上回る。

G341 から G342 への流出を考慮する他、ここでは G341 と G358 の境界扉についても流出を考慮し評価を行っている。熱交換器室(G341)での溢水量(28.4 m³)に対して、G341、G342 及び G358 を合せた区画の滞留面積(317.5 m²) で評価した没水高さは 0.09 m と評価され、G358 への流出を考慮することで機能喪失には至らないと評価できる。



2. 2 防護区画外(G358)からの流入を想定した溢水

① 溢水源及び溢水量の設定

G358 においても最大の溢水量は、2次冷却水配管の溢水量(28.4m³)である。

② 溢水影響評価

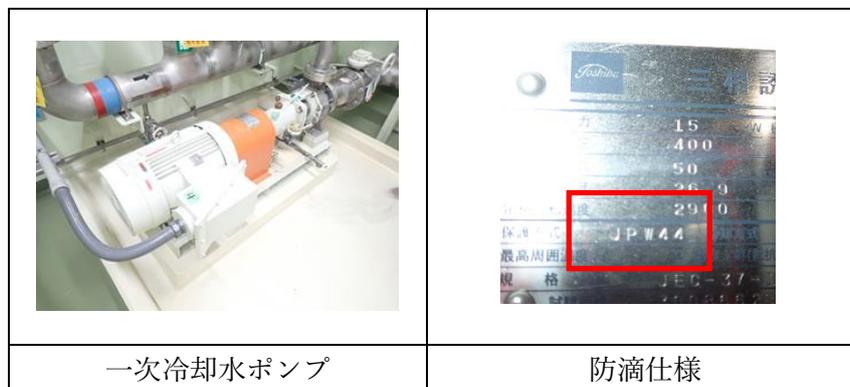
2系統が同時機能喪失に至る溢水影響を評価する上で、G358 から防護区画G341 及びG342 への流入を考慮する。この場合の影響評価としては、先の評価と同様に、機能喪失高さを下回る。

3. 配管の破損を想定した場合の被水影響

被水影響については、溢水源と防護対象機器の間に被水防止板等の障害物が無ければ距離によらず被水するものとしている。当該区画においては、溢水源と防護対象機器の間に障害となる被水防止板等はないことから、一次冷却水ポンプは被水する。

防護対象設備が被水した場合の影響について、防滴仕様（水の飛沫による影響を受けない保護等級(IPコード)4以上相当）である設備は被水により損傷しないと評価する。

一次冷却水ポンプについては防滴仕様であることから、被水影響はないものと評価している。



LWTFに係るこれまでの試験結果の概要と今後の対応について

令和2年12月3日
再処理廃止措置技術開発センター

1. 概要

LWTFにおいて、導入を計画している硝酸根分解設備については、①触媒還元反応を行う分解槽と②アンモニア追い出しを行うアンモニア分離槽/炭酸ナトリウムへの転換を行う転換槽で構成されている。

各貯槽では、化学反応による処理が行われていることから、設備化にあたっては、反応に関与する全ての物質(還元剤、触媒、ガス)の添加量や添加速度、反応条件(温度・攪拌条件)に着目し、ピーカースケール又は工学規模での試験を実施しており、必要なデータを取得してきた。

これまでの試験結果の概要と今後の対応について以下に示す。

2. 硝酸根分解設備における受入条件と払出条件

LWTFの液体廃棄物処理設備の設備構成を図-1に示す。硝酸根分解設備では、ろ過・吸着設備から発生した放射能濃度の低い硝酸塩廃液を受入れ、炭酸塩廃液として払い出し、セメント固化を行う計画である。当該設備における受入条件と払出条件を表-1に示す。

表 硝酸根分解設備における受入と払出の設計条件

受入廃液の設計条件	払出廃液の設計条件
NaNO ₃ : ~約 4.7mol/ℓ Na ₂ SO ₄ : 微量 塩濃度が最も高い廃液の場合	NaNO ₃ : ~約 0.47mol/ℓ (脱硝率 90%以上) pH 11.5 以下
不純物(TBP/DBP): 微量 沈殿物: 上流のろ過・吸着設備において、除去されるため、沈殿物なし	—

受入条件は、ろ過・吸着設備の試験結果等から保守的に設定し、払出条件については、浅地中処分の際に、問題とならないようセメント固化体中の硝酸性窒素を低減するために設定した値である。

なお、払出廃液はセメント固化の対象となるため、組成が変動した場合でも所定の強度が得られる固化体が作製できることは、実規模試験で確認済みである。

3. これまでに実施した試験項目と試験結果について

これまでに実施した試験項目と試験結果の概要を表-1に示す。

➤ 触媒還元反応(分解槽)

運転制御上において考慮すべきパラメータは、触媒添加量、還元剤の供給量、供給速度、溶液温度、槽内の均一性(攪拌速度)である。

触媒添加量、還元剤の供給量、供給速度は、廃液処理量に応じてスケールアップすること。溶液温度は、その違いによる分解性能への影響は小さいこと。槽内の均一性については、実機の設計にあたり、貯槽形状を工学試験装置と概ね相似形とし、攪拌は、単位体積当たりの攪拌動力が試験装置と同程度となるような条件を選定し、均一性を確保することから、実機へのスケールアップの問題はない。

- ✓ 処理対象廃液の硝酸ナトリウムの濃度に関係なく、硝酸イオンの分解が可能(表-1 No1)。
- ✓ 分解反応が速やかに進行できる最低限の触媒添加量を確認済み(表-1 No2)。
- ✓ 触媒寿命、触媒劣化のメカニズム、触媒劣化の緩和方法について確認済み。また、長期に渡り運転が停止した場合に触媒の分解性能が低下しないことを確認済み(表-1 No3~6)。
- ✓ 還元剤の供給速度に応じて分解速度の制御が可能(表-1 No3)。
- ✓ 溶液温度の違いにより、反応速度が低下しないことを確認済み(表-1 No10,11)。
- ✓ 触媒濃度が均一に分散していれば、分解速度は攪拌速度の影響なし(表-1 No14)。
- ✓ 想定される不純物について、分解性能への影響なし(表-1 No16~21)。

➤ アンモニア追い出し(アンモニア分離槽)、炭酸ナトリウムへの転換(転換槽)

運転制御上において考慮すべきパラメータは、運転温度(アンモニア分解槽)、ガスの吹込み量(アンモニア分離槽、転換槽)である。

運転温度は80℃で容易に制御できること。ガスの吹込み量は、所定の分解性能が得られるよう実プラントにおいて、調整が可能であることから、実機へのスケールアップの問題はない。

- ✓ 想定される最大濃度で、アンモニア追い出し、炭酸ナトリウムへの転換ができることを確認済み(表-1 No26~30)。
- ✓ 空気の供給速度に応じて追出し時間の短縮化が可能(表-1 No27)。

以上より、処理時のパラメータが多少変動しても分解反応が進むこと、また、触媒劣化の緩和方法や処理速度を変える方法を把握できていること、等から、硝酸根分解設備は安定運転ができる見通しである。

4. 今後の対応について

これまでに実施した試験において、安定運転できる見通しが得られていることから、実規模スケールでの性能確認については、工事完了後、実設備を用いてコールド試運転で確認する計画である。

また、硝酸根分解設備のキー技術である触媒を用いた分解反応については、実規模における槽内の均一性を直接確認することが難しく、当該貯槽については、バックデータの検証のために計算コードによる均一性のシミュレーション等の検討を進める。

以上

表-1 硝酸根分解設備導入に際し、試験で確認すべき項目と試験結果の概要

No	対象貯槽	確認項目	試験範囲	試験結果の概要	試験規模		
					ピーカー	工学規模	R試験
1		硝酸ナトリウム 濃度	3.5, 7.3 M NaNO ₃	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸イオンの分解生成物の生成比率が概ね一致しており、硝酸ナトリウム濃度による違いは確認できなかった。 	○		
		添加量	0.5, 1, 5 g-metal/L	<ul style="list-style-type: none"> 触媒添加量 5 g-metal/L では化学当量の反応が速やかに進行することが確認できた。 触媒添加量 1g-metal/L 以下では分解反応が遅くなり、供給したヒドラジンが液中に蓄積することが確認できた。 	○		
3	分解槽 (触媒還元反応)	触媒 寿命	還元剤供給速度： 0.4, 0.8, 0.9 mol/h・g-metal	<ul style="list-style-type: none"> (1) 触媒の寿命評価 <ul style="list-style-type: none"> 還元剤の供給速度が大きいにほど触媒劣化が加速される。 触媒寿命：触媒量当たりの硝酸イオン分解量 約 38 mol-NO₃/g-metal (バッチ数換算：約60バッチ) (2) 触媒の劣化現象 <ul style="list-style-type: none"> 触媒の担持金属の含有率分析と表面のSEM画像測定を行った結果、触媒の劣化は、担体の活性炭からの金属コロイドの剥離と、金属コロイドの変質に伴うことが分かった。 触媒の劣化現象が、触媒の本質的な変化によることから、再生は困難と判断される。 (3) 触媒の劣化原因 <ul style="list-style-type: none"> 触媒劣化の因子は、硝酸イオンと還元剤の酸化還元作用や反応熱と推定される。 時間当たりの発熱密度を小さくする処理方法の適用によって、触媒が長寿命化する可能性がある。 	○		
					<ul style="list-style-type: none"> (1) 触媒の寿命評価 <ul style="list-style-type: none"> 触媒寿命：約48 mol-NO₃/g-metal (バッチ数換算：約55バッチ) (2) 触媒の劣化現象 <ul style="list-style-type: none"> 触媒の担持金属含有率分析を行った結果、担持金属含有率が処理バッチ数に比例して低下する傾向が確認できた。寿命試験後 (40バッチ処理後) の触媒の担持金属含有率は、約70%まで低下していた。 触媒表面のSEM画像測定を行った結果、活性炭表面に網目状に担持されていたPd/Cu金属が、寿命試験後は金属が多く剥離し凝集していることが確認できた。 		
4			還元剤供給速度： 0.2 mol/h・g-metal				

No	対象貯槽	確認項目	試験範囲	試験結果の概要	試験規模	
					ピーカー	R試験
5	分解槽 (触媒還元反応) 触媒	触媒劣化の緩和	<ul style="list-style-type: none"> 模擬廃液： 0.47, 1.18, 2.35, 4.7 M NaNO₃ 還元剤供給速度： 0.05, 0.1, 0.4 mol/h・g-metal 溶液温度： 50, 60, 70, 80°C 	<p>(1)触媒の劣化緩和条件 【還元剤供給流量】</p> <ul style="list-style-type: none"> 還元剤供給流量が小さいほど触媒は長寿命化することが示唆された。 触媒寿命は、発熱速度[kJ/h・g]と密接な関係があり、これを低く抑えることで触媒劣化が緩和されると推定した。 <p>【溶液温度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶液温度を低下させると触媒が長寿命化する傾向がみられた。80°Cの溶液温度条件に較べて、50°C条件では約10 mol-NO₃⁻/g-metal (10バッチ) 程度の長寿命効果と推定した。 低溶液温度条件では、反応速度が低下することが分かった。 <p>【硝酸ナトリウム濃度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 硝酸ナトリウム溶液濃度による触媒劣化への影響はなかった。 <p>(2)触媒の推定交換寿命</p> <ul style="list-style-type: none"> 低還元剤供給流量条件において、触媒の長寿命化が確認できた。 推定した触媒寿命：157 mol-NO₃⁻/g-metal (167バッチ) <p>(3)触媒の劣化原因</p> <ul style="list-style-type: none"> 触媒の劣化原因は、分解反応熱による担持金属の剥離である。 特に、分解反応熱として発熱速度が大きく関与している。 	○	
6		処理済液濃漬の影響	保持期間：約13か月	<ul style="list-style-type: none"> 工学規模試験で寿命試験後（40バッチ処理後）の触媒をそのまま処理済液に約13か月保持した後、採取した触媒の分解性能を確認した。 試験結果から、硝酸イオン分解率は工学規模試験40バッチ後から低下してはなかったが（85.5%→89.7%）、アンモニア選択率は増加しており（37.1%→54.3%）、触媒活性の低下が見られた。 	○	

No	対象貯槽	確認項目		試験範囲	試験結果の概要		試験規模	
							ピーカー	R試験
7		添加量	$N_2H_4/NaNO_3$: 1.1, 1.25, 1.4 mol/mol		・ヒドラジンの添加量は1.25 mol/mol- NO_3^- が最適であることを確認した。	○		
8		供給位置	還元剤供給ノズル位置 : 液面下0, 160 mm		・還元剤の供給位置については、液面付近（液面下0 mm）と攪拌翼直近部分（液面下160 mm）において還元剤を供給した場合に得られた硝酸根分解率を比較すると、攪拌翼直近部分（液面下160 mm）の位置で分解反応は進行し硝酸イオンは100%分解することを確認した。		○	
9		還元剤		触媒：有, 無 ガスバブリング : 有(空気, 窒素), 無	・試験結果から、ヒドラジンは触媒存在下で自己分解反応を起こし、主な反応式は下式であることが推察された。 $N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2H_2$ (完全分解反応) ・ロジウム系触媒によりヒドラジンが自己分解反応を起こすことが文献で報告されている。硝酸根分解用触媒はPd/Cu系触媒であるが、同様の活性があるものと考えられる。	○		
10				60, 80 °C	・溶液温度60°C、80°Cの場合において、分解速度に差が見られなかった。 ・溶液温度80°Cの方が分解生成物の窒素の生成比率が高く、副生成物のアンモニアの生成比率が低くなることを確認できた。	○		
11	分解槽 (触媒還元反応)	溶液温度		55, 60, 80 °C	・60°Cと80°Cで分解速度に差が見られないことを確認した。 還元剤供給開始時の温度を55°Cとしたが、硝酸イオンの分解率も100%分解し、問題ないことを確認。 ・なお、55°Cで還元剤供給開始とすると数分で80°Cとなった。		○	
12		温度制御		-	・反応槽溶液温度はジャケット水の温度設定で制御可能であり、実機では還元剤の供給流量における酸化還元反応熱を除去する設計で対応できる。 ・反応槽温度の制御は、反応槽内温度がジャケットによる加熱及び冷却に追従したことにより、反応槽ジャケットだけで反応槽内の温度が制御できる事を確認した。		○	
13		圧力		-	・分解槽内の圧力は、還元剤供給中の酸化還元反応に伴うガス発生時に微負圧となるよう、オフガス系を設定することで、常時負圧を維持できる。		○	
14				10-100 rpm	・40rpm以上で、上部、底部の触媒濃度の値はほぼ同等。 ・回転数 50rpm、100rpm における分解試験結果、分解率に影響はみられず、回転数が反応に与える影響は小さい。		○	
15		攪拌機		115-291 rpm	・攪拌条件取得試験の結果、工学試験装置反応槽内の触媒が均一分散する攪拌条件は、攪拌機回転数115 rpm以上であることが確認できた。バッチ式工学試験は溶液性状、発泡等により攪拌条件取得試験時と比較し溶液条件が異なる。 ・試験中は反応槽内部を目視できないことから、余裕をみて144 rpmで実施することとした。		○	

No	対象貯槽	確認項目	試験範囲	試験結果の概要	試験規模			
					ピーカー	R試験		
16	分解槽 (触媒還元反応)	不純物の影響確認	亜硝酸ナトリウム NaNO ₂	模擬溶液： 400 g/L NaNO ₂	・亜硝酸イオンは、分解反応により主に窒素へ分解される。	○		
17			硫酸ナトリウム Na ₂ SO ₄	模擬溶液： 100 g/L Na ₂ SO ₄	・硫酸イオンは、分解反応には関与しないことを確認した。	○		
18			亜硫酸ナトリウム Na ₂ SO ₃	模擬溶液： 8 g/L Na ₂ SO ₃	・亜硫酸イオンは太気下で容易に酸化されやすく、実廃液中には含まれないと推測される。 ・溶液中に亜硫酸イオンが含まれる場合は触媒の溶出を引き起こすため、酸化前処理を行うことで、本触媒を適用可能である。	○		
19			TBP	添加量：1000ppm	・LWTF設計値濃度の夾雑物TBP 1000ppmが処理廃液に混入した場合には、分解性能への影響のないことが分かった。	○		
20			DBP	添加量：1000ppm	・LWTF設計値濃度の夾雑物DBP 1000ppmが処理廃液に混入した場合には、分解性能への影響のないことが分かった。	○		
21			ドデカン	添加量： 触媒に100wt%吸着	・ドデカンの触媒への最大吸着量は触媒とほぼ同重量であることが分かった。 ・最大吸着量のドデカンが吸着した触媒では、分解反応は進行するが、反応速度の低下とアノニア選択率の増加傾向がみられ、分解反応への影響が確認された。 ・触媒表面への吸着により、活性が低下したことを確認した。	○		
22			アジ化ナトリウム NaN ₃	模擬溶液組成： 304 g/L NaNO ₃ 80 g/L NaNO ₂ 8 g/L Na ₂ SO ₄ 8 g/L Na ₂ SO ₃	・アジ化ナトリウムの分析は、吸光度法 (JIS K 9501) に蒸留処理 (アジ化鉄の発色を妨害する水酸化ナトリウムを除去する前処理) を組み合わせ実施した。 ・模擬溶液を分解処理後、処理済溶液の分析の結果、アジ化ナトリウムは検出されなかった (検出下限値20mg/L)。 ・硝酸根分解の処理後溶液はアルカリ溶液であるため、アジ化水素の気相への移行はほとんど起きず、爆発の危険性は少ない。 ・アジ化ナトリウムは亜硝酸イオンと反応するため、本処理溶液中には基本的には含まれない。	○		
23			放射性核種の挙動	Cs-134, Sr-85, Ru-106, Ce-139, I-131	-	・硝酸イオンの分解反応に伴い、核種の気相移行がないことを確認した。 ・試験前の模擬溶液からは、Ru-106、Ce-139及びI-131が検出されず、Sr-85は約20%の濃度低下がみられたため、触媒の活性炭担体に吸着したものと推定される。 ・試験後の模擬溶液からは、Sr-85、Cs-134についての濃度低下が見られたため、試験中に活性炭担体に吸着したものと推定される。		○
24			材料腐食	SUS 304, 304L, 316, 316L	-	・SUS316, 316L, 304, 304Lともに反応槽溶液中の暴露環境では腐食が観察されず、保守的に求めた腐食速度は、0.004 g/m ² /hr以下であった。		○
25			設計反映箇所	液位計	-	・反応槽液位計 (静電容量式) は、液位検出部に触媒が付着し、誤作動する問題があった。実機では液位計を差圧式とする方式が有用と考えられる。		○

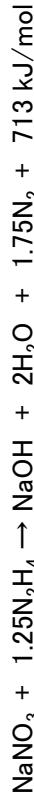
No	対象貯槽	確認項目	試験範囲	試験結果の概要	試験規模	
					ピーカー	R試験
26	アンモニア分離槽 (アンモニア 追出し)	空気供給流量	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス供給流量： 0, 0.1 L/min ・供給方法： 単管 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンモニア成分濃度を5,000mg/Lから100mg/Lまで低下させる場合、その処理時間は5.5～5.9時間と求められる。 ・ガス供給流量の0.1 L/min (1 m³/m²・h) は、実機の2 m³タンク (φ1650mm) では2 m³/hのガス量に相当し、この条件により6時間でストリップング処理可能と考えられる。 	○	
27			<ul style="list-style-type: none"> ・ガス供給流量： 50, 200L/min 	<ul style="list-style-type: none"> ・200L/minの場合、アンモニア濃度が1/10になる時間は、3時間程度で到達。 ・一方、50L/minの場合は、3時間経過後も、初期濃度の60%程度。 ・以上より、ストリップングには空気供給流量の影響が大きい。 	○	
28			<ul style="list-style-type: none"> ・ガス供給流量： 0.1, 0.5, 1.0 L/min ・供給方法： シンターメッシュ、単管 	<ul style="list-style-type: none"> ・シンターメッシュガラスバブラーを用いた場合、炭酸ガスの供給開始直後にメッシュ部に白色の炭酸塩が析出し、目詰まりを生じた。 ・炭酸ガスの吹き込みによる水酸化ナトリウム溶液の中和 (炭酸塩転換) により、溶液のpHを11.5に容易に調整できることが分かった。 ・炭酸ガスの利用率については、一般に装置化されているインラインミキシング方法により高められる。但し、本プロセスでは高濃度の水酸化ナトリウムを扱うため、炭酸ナトリウムの析出に対する対策として、吹き込みガスや溶液の温度管理等の検討が必要となる。 	○	
29	転換槽 (炭酸ナトリウムへ の転換)	ガス供給方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス供給流量： 1～4 L/min ・供給方法： 単管、ウルトラファイン バブラー、焼結金属フィル タ 	<ul style="list-style-type: none"> ・スパージャー方式による炭酸ガス吹込みでは、供給ノズルの内部や先端部で局所的なpH低下を伴い、炭酸水素ナトリウムが析出する原理的な問題があるため、実機には使用できないと判断される 	○	
30			<ul style="list-style-type: none"> ・ガス供給流量： 1～4 L/min ・供給方法： インラインミキサ (シ ンチュー技研製、ノリタケ カンパニー製) 	<ul style="list-style-type: none"> ・インラインミキサ方法による炭酸ガス吸収試験により、問題なくpHを10.5に調整できることが確認できた。 ・気液比を適切に設定することにより高pH領域 (14付近) では炭酸ガス吸収効率を高めることが出来るが、pHの低下に伴い効率も低下し、pH 11.5近くでは40%になることが分かった。 ・今回試験に供した2種のミキサ (シンチュー技研製、ノリタケカンパニー製) では、その性能に違いはみられなかった。 	○	

No	対象貯槽	確認項目		試験範囲	試験結果の概要	試験規模	
		設計反映箇所	サンプリング配管			ピーカー	R試験
31	転換槽 (炭酸ナトリウムへの転換)	設計反映箇所	サンプリング配管	-	・高濃度の炭酸塩をハンドリングする上で、炭酸塩（炭酸水素ナトリウム）の析出を避けるためのサンプリング配管のヒートレース付設などの対策が必要となる。		○
32		ガス発生流量	-	還元剤供給：有, 無	・ヒドラジン供給時に発生するガス流量は、還元剤供給に追従することを確認した。		○
33	オフガス系	設計反映箇所	オフガス流量計	-	・オフガス流量計（熱線式）は、オフガスに水分が多量に含まれているため使用できなかつた。実機のオフガス流量については反応槽の圧力変化から算出する方式が有用と考えられる。		○

硝酸根分解設備(分解槽:触媒還元反応)

【プロセスの概要、運転方法】

➤ プロセス概要(触媒還元反応)
 硝酸根分解プロセスは、触媒(活性炭担持Pd/Cu系触媒:粒径約60 μm)と還元剤であるヒドラジン(60%水加ヒドラジン:非危険物)を用いて、低放射性廃液(硝酸ナトリウム廃液)中の硝酸イオンを還元し、窒素へと分解する。なお、Pd/Cu触媒と水素を用いて硝酸汚染地下水を浄化する技術は、従来より研究されている。[1]



この反応には、触媒が必要であり、**触媒が存在しないと反応は進行しないプロセス**である。
 ➤ 運転方法(実機)

- ① 分解槽に約500 L(1バッチ当たりの処理量)の硝酸ナトリウム廃液(4.7 mol/L)を供給する。
 触媒は、予め分解槽にスラリー状態で張り込んでおく。
- ② 分解槽の廃液を攪拌しながら、液温を蒸気ジャケットを用いて運転温度の80 °Cまで昇温する。
- ③ 還元剤のヒドラジン(約240 L)を、約20時間かけて供給する(供給速度は約3.3 mL/secとなる)。

この供給速度は、工学試験時の約1/3倍である(表1参照)。
 ④ 分解槽では還元剤のヒドラジンを添加後速やかに硝酸イオンの分解が進み、発熱により槽内の温度が上昇することから、冷水ジャケットを用いて除熱しながら、運転温度の80 °Cに温度制御を行う。
 ⑤ 還元剤のヒドラジンの添加終了後(約20時間後)、分解槽から払い出す。

【スケールアップへの影響・運転条件の裕度】

- ✓ 分解反応
 硝酸イオンの分解反応(触媒還元反応)は、触媒存在下で硝酸ナトリウム廃液と還元剤のヒドラジンを混合すると、**混合箇所において速やかに進む**。そのため、スケールアップした分解槽においても**触媒の槽内での均一性が得られていれば、硝酸イオンの分解反応は進行する**。
 工学試験と実機の比較
 実機運転では、工学試験に比べ、還元剤のヒドラジンの供給速度が約1/3倍となり、**硝酸イオンの分解反応は緩やかとなっている**。
 このため、**実機における運転条件は、工学規模の実験データに対して十分裕度を確保している**。
- ✓ 運転温度
 工学試験において、分解槽内の液温が60 °Cの場合でも、添加したヒドラジン濃度は常に検出下限値以下(ND)であり、硝酸イオンの分解は継続していることから、**運転温度が80 °Cより低下したとしても処理量が低下することはない**(図2参照)。工学試験時の運転温度の経時変化を図3に示す。
 なお、冷却ジャケットによる温度制御は一般的な方法であることから、制御の応答性を適切に設定することにより温度制御は可能である(制御の応答性は試運転段階で設定する)。
- ✓ 触媒の槽内での均一性
 触媒の槽内での**均一性を得られる条件(搅拌机回転数を1/25スケールの工学試験装置を用いて確認した(表2参照))**。実機では同様の攪拌状態が得られるように、単位体積当たりの攪拌動力(0.13 Kw/m³)が同一となる回転数を選定予定。
 スケールアップ時の考慮
 実機の設計にあたっては、**貯槽形状を工学試験装置と相似形**[2]とし、搅拌机の選定は、**単位体積あたりの攪拌動力を試験装置と同程度**[2]とする一般的なスケールアップ時の考え方を基に行った。実機分解槽の内径及び液面高さは、工学試験装置の**約3倍の相似比**となるよう計画(図-1参照)。
 実機貯槽の主要材質はSUS304Lを選定している。なお、工学試験装置において、テストピース(SUS304, 304L, 316, 316L)を用いた材料腐食試験を実施し、腐食の問題はないことを確認済み。
 参考文献:[1] Selective hydrogenation of nitrate to nitrite in water over Cu-Pd bimetallic clusters supported on active carbon, Okuhara et.al, Journal of Molecular Catalysis A : Chemical 250(2006) 80-86.
 [2] 化学工学会編 “改訂七版 化学工学便覧”

補足資料

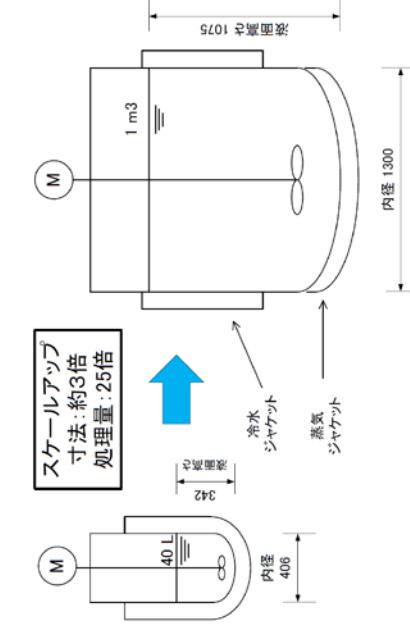
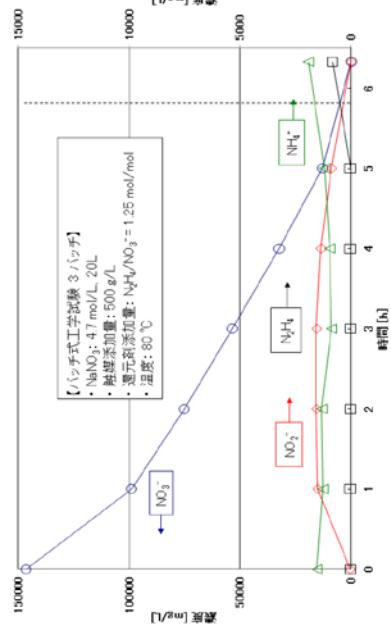


図1 工学試験と実機における分解槽の概要

表1 工学試験と実機の運転条件

① 廃液処理量 (m ³ /バッチ)	工学試験	実機
② 廃液処理時間 (h/バッチ)	0.02	0.5
③ N ₂ H ₄ 供給速度 (mL/sec)	6	20
④ N ₂ H ₄ 相対供給速度 (③ / ①)	0.44	3.3
⑤ 硝酸根初期濃度 (mol/L)	22.0	6.6
⑥ 硝酸根分解速度 (mol/L/h)	4.7	4.7
⑦ 硝酸根分解速度 (mol/L/h)	0.783	0.235

(a) 運転温度: 80 °C



添加したヒドラジンの残存量がゼロであるため、添加後速やかに分解反応へ寄与する。

(b) 運転温度: 60 °C

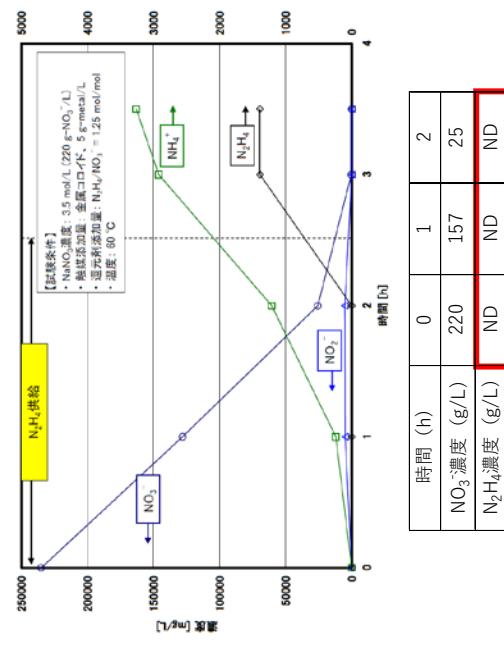
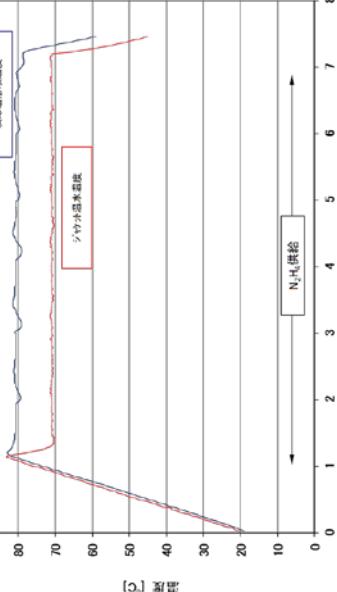


図2 ヒドラジン供給時の化学種の経時変化

➤ スケールアップ時の考慮
 実機の設計にあたっては、**貯槽形状を工学試験装置と相似形**[2]とし、搅拌机の選定は、**単位体積あたりの攪拌動力を試験装置と同程度**[2]とする一般的なスケールアップ時の考え方を基に行った。実機分解槽の内径及び液面高さは、工学試験装置の**約3倍の相似比**となるよう計画(図-1参照)。
 実機貯槽の主要材質はSUS304Lを選定している。なお、工学試験装置において、テストピース(SUS304, 304L, 316, 316L)を用いた材料腐食試験を実施し、腐食の問題はないことを確認済み。
 参考文献:[1] Selective hydrogenation of nitrate to nitrite in water over Cu-Pd bimetallic clusters supported on active carbon, Okuhara et.al, Journal of Molecular Catalysis A : Chemical 250(2006) 80-86.
 [2] 化学工学会編 “改訂七版 化学工学便覧”

表2 実機に採用する搅拌机の性能



還元剤供給後、ジャケット温水温度を70 °Cにすることで運転温度80 °Cに制御した。

図3 工学試験時の運転温度の経時変化

搅拌机回転数と分解槽内触媒濃度分布(工学試験)

搅拌机回転数 (rpm)	97	115	173	232
サンプリング位置 (注1)	底部	上部	底部	上部
触媒触媒濃度 (vol%) (注2)	50.0	0	35.5	33.9
触媒触媒濃度 (vol%) (注2)	0	34.7	33.7	34.7
触媒触媒濃度 (vol%) (注2)	33.7	34.7	33.7	33.7

注1) 槽内部における垂直方向の位置
 注2) 触媒担体の粒状活性度により異な

動力数	無次元数	工学試験	実機
密度	kg/m ³	1250	1250
回転数	rpm	173	103
翼スパン	m	0.17	0.45
体積	m ³	0.05	1.3
単位体積あたり動力	Kw/m ³	0.099	0.104

硝酸根分解設備(アンモニア分離槽：アンモニア追出し、転換槽：炭酸ナトリウムへの転換)

アンモニア追出し及び炭酸ナトリウムへの転換については、既存技術を適用したものである。このため、設計に必要なプロセスデータについては、ビーカースケール試験で取得した。

【アンモニア分離槽：プロセスの概要、運転方法】

- プロセス概要(アンモニア追出し)
硝酸根分解プロセスの過程で副次的に生成するアンモニアを廃液中から追いつき出すプロセスであり、その方法については、一般産業において多くの事例があるアンモニアストリッピング法を用いて行う。
アルカリ溶液(水酸化ナトリウム廃液)中のアンモニアはイオンではなく分子(ガス)として存在している。
$$\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NH}_3$$

このアンモニア(分子)を空気をバブリングすることにより追いつき出す。

➢ 運転方法(図1参照)

- ① 廃液をアンモニア分解槽へ供給し、蒸気により約80°Cに昇温する。
 - ② アンモニア分解槽内に単位液断面積当たりの攪拌流量約1.3 m³/h/m²※で空気を供給する。
 - ③ 約4時間後、空気の供給を停止し、次工程(転換槽)へ移送する。
- ※バブリングを用いて液中のアンモニアを気相中へ追いつき出す方法については、ビーカースケール試験(模擬廃液: 3.6 M NaOH溶液0.2 L、初期アンモニア濃度: 5000 ppm以上、圧空供給: 0.1 L/min)を実施し、単位液断面積当たりの攪拌流量として1.05 m³/h/m²において十分な追いつき効果が得られることを確認している(図2参照)。

【他プラントの例(参考)】

- ✓ 栗田エンジニアリング株式会社,アンモニア処理装置
(装置標準仕様: 初期アンモニア態窒素濃度 最大9,000 mg/L, 除去率94.45%, 処理量4 m³/h)

【転換槽：プロセスの概要、運転方法】

- プロセス概要(炭酸ナトリウムへの転換)
一般的な中和反応であり、硝酸根分解プロセスで生成した水酸化ナトリウムを炭酸ガスと反応させ、炭酸ナトリウムとするものである。
$$2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- 運転方法(図3参照)
 - ① ポンプにて転換槽内の水酸化ナトリウム廃液を循環する。
 - ② 循環ラインに設けたインラインミキサー※において、炭酸ガスを供給混合(気液比2)し、炭酸ナトリウム廃液に転換する。
 - ③ 約7時間後中和反応は終了し、次工程へ移送する。

※ポンプ吐出ラインに設けられたインラインミキサーでの液流速は通常の液移送における流速(1~2 m/sec)と同等であり、その流速において良好な混合(転換)が可能であることが確認されている(図4参照)。
実機においても操作条件(流速)は同等であり、流量(2 m³/h)に見合ったインラインミキサーを選定する。

【池プラントの例(参考)】

- ✓ 昭和電工ガスプロダクツ株式会社, アルカリ排水中和処理装置
水酸化ナトリウム系の排水として、食品メーカーの洗ビン排水等に適用

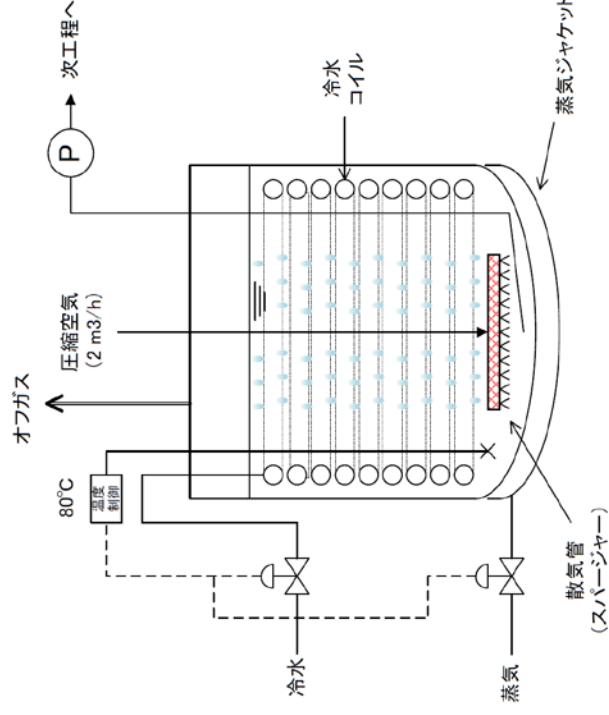


図1 アンモニア分離槽の概要(実機)

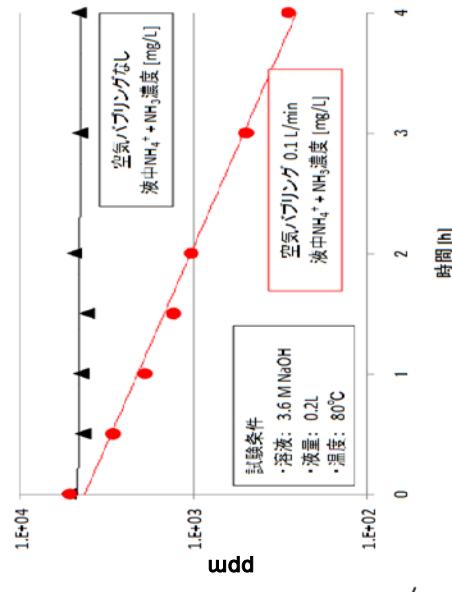


図2 アンモニア追出し効果(ビーカースケール試験)

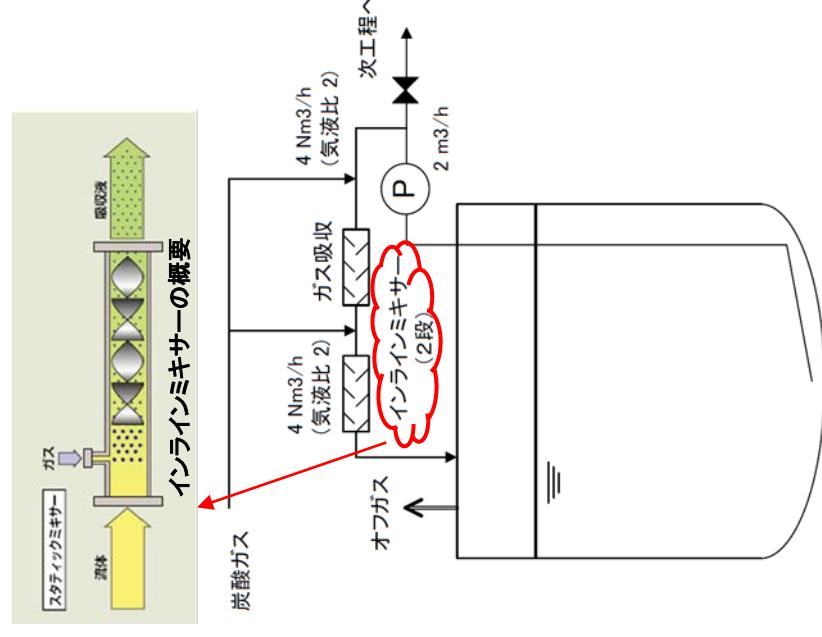
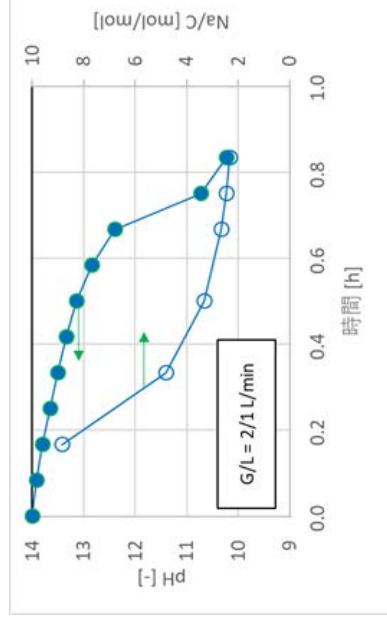


図3 転換槽の概要(実機)



試験条件

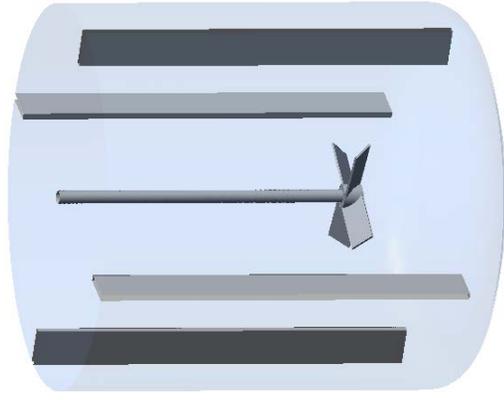
- 溶液: 3.6 M 水酸化ナトリウム
- 液量: 2 L
- 循環流量(水酸化ナトリウム): 1.0 L/min
- 循環流量(炭酸ガス): 2.0 L/min
- 気液比: 2
- インラインミキサー: 実機と同一仕様(ビーカースケール)

3.6 M 水酸化ナトリウムの水溶液に気液比2で炭酸ガスを吹き込むことにより全量炭酸ナトリウムに転換することが可能

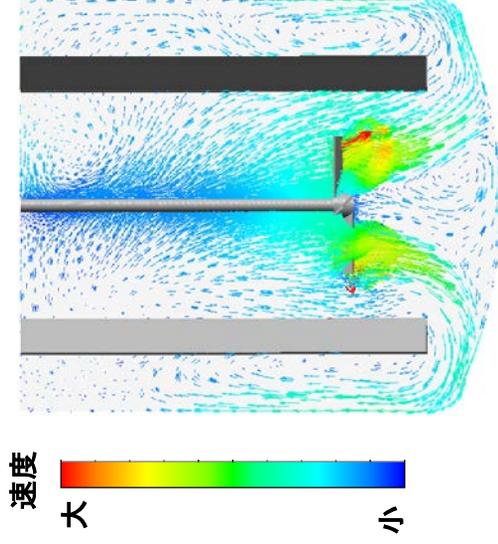
図4 炭酸ガスによる炭酸ナトリウムへの転換(ビーカースケール試験)

触媒粒子の均一分散性検討のためのシミュレーション

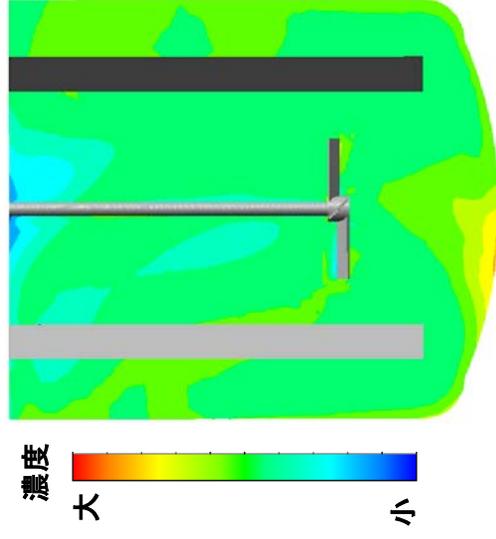
- CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析を実施する。
- 解析には、市販の汎用ソフトウェア (ANSYS Fluent) を使用予定。
- 攪拌槽における固体粒子の分散現象を表現するため、乱流モデル、および固-液2相流モデルを使用する。
- 解析事例を下図に示す。
 - 攪拌槽、および槽内の主要構造物 (攪拌翼、邪魔板など) を実際の形状・寸法に従ってモデル化する。
 - 物性値 (液密度・粘度、粒子密度・粒子径など) と、運転条件 (触媒量、攪拌回転速度など) を入力する。
 - 解析結果として、槽内の流動状態を示す速度ベクトルや、固体粒子の濃度分布などが得られる。
 - 上記の解析結果により、触媒粒子の均一分散性を評価する。



形状モデル



解析結果: 流動状態 (速度ベクトル)



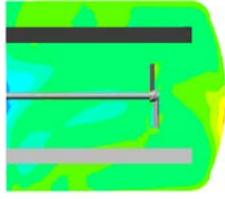
解析結果: 固体粒子濃度分布

シミュレーションを用いた検討手順



工学試験装置

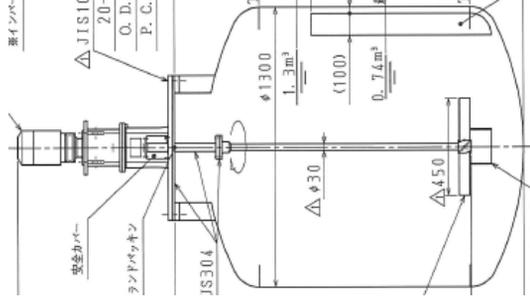
シミュレーション



検証

適用

実機



計画図

Step-1

実験結果を用いたシミュレーション結果の妥当性検証

- 実験における触媒濃度の測定結果と、シミュレーション結果を比較する。
- 両者に差異が見られた場合は、シミュレーション手法の修正を行う。

- 解析モデルの変更、追加
- モデルパラメータの調整

Step-2

Step-1で検証されたシミュレーション手法による実機の性能確認

- 触媒粒子の均一分散性※が実現できている運転条件(攪拌回転速度)を確認する。



※硝酸イオンの分解反応(触媒還元反応)は、触媒存在下で硝酸ナトリウム廃液と還元剤のヒドラジンを混合すると、混合箇所において速やかに進む。そのため、触媒の槽内での均一性が得られていれば、硝酸イオンの分解反応は進行することから、触媒粒子の均一分散性を確認

東海再処理施設の安全対策に係る面談スケジュール(案)

令和2年12月3日

再処理廃止措置技術開発センター

面談項目 (下線 : 1月変更申請 青字 : 監視チーム会合コメント対応)		令和2年							
		11月				12月			
		2~6	~13	~20	~27	30~4	~11	~18	~25
安全対策									
地震による損傷の防止									
津波による損傷の防止	○代表漂流物の妥当性評価 ○引き波の影響評価 ○津波漂流物防護柵設置工事 -設計及び工事の計画 ○TVF 一部外壁補強工事 -設計及び工事の計画		▼12	▼16	▼26				
事故対処	○今後のスケジュール ○基本シナリオ ○訓練概要 ○要員, 設備, 資源(水, 燃料), 対処時間, 時間余裕, 適合性の検討 ○TVF 事故に係る対策 -設計及び工事の計画	▼5	▼12	▼16◆19	▼26				
			▼12	▼16◆19	▼26	▽1			
						(以降の面談において実施状況を適宜報告する。)			
外部からの衝撃による損傷	竜巻								
	火山								
	外部火災								

▽面談、◇監視チーム会合

面談項目 (下線 : 1月変更申請 青字 : 監視チーム会合コメント)		令和2年							
		11月				12月			
		2~6	~13	~20	~27	30~4	~11	~18	~25
内部火災	○火災影響評価 ○防護対策の検討						▽10		
溢水	○溢水影響評価 ○溢水源の特定と対策の検討					▽3			
制御室	○有毒ガス影響評価 ○換気対策の有効性評価				▼26 (発生源調査)			(▽17) (評価・対策)	
その他施設の安全対策	○その他施設の津波防護 -津波流入経路、廃棄物等流出経路に係る各建家のウォークダウン -放射性物質の流出の恐れのある施設に関する詳細評価 -廃棄物等の建家外流出のおそれに対する対応方針 -対策の内容、対策の評価	▼5 (10/15 面談積み残し)	▼12	▼16◆19	▼26		▽10		▽24
その他									
廃止措置計画の既変更申請案件の補正	○TVF 保管能力増強 ○LWTF のセメント固化設備及び硝酸根分解設備の設置				▼26	▽3			
保安規定変更申請	保安規定変更申請(貯槽液量管理、組織改正、重大事故関連)				▼26				

▽面談、◇監視チーム会合