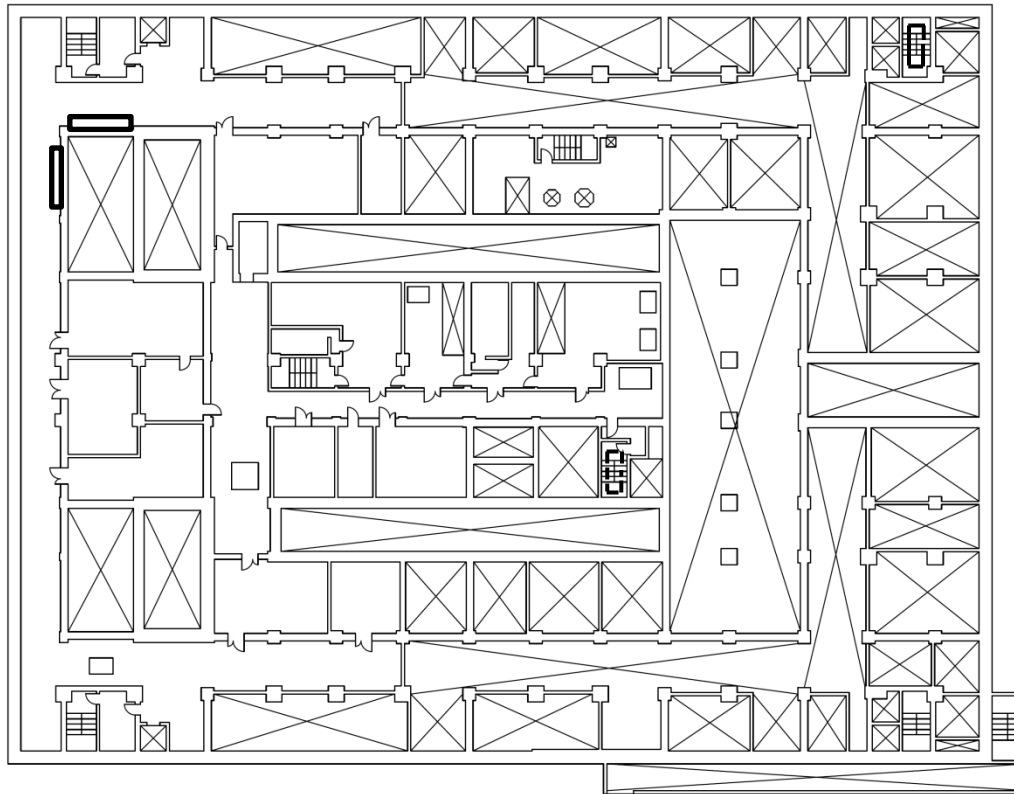


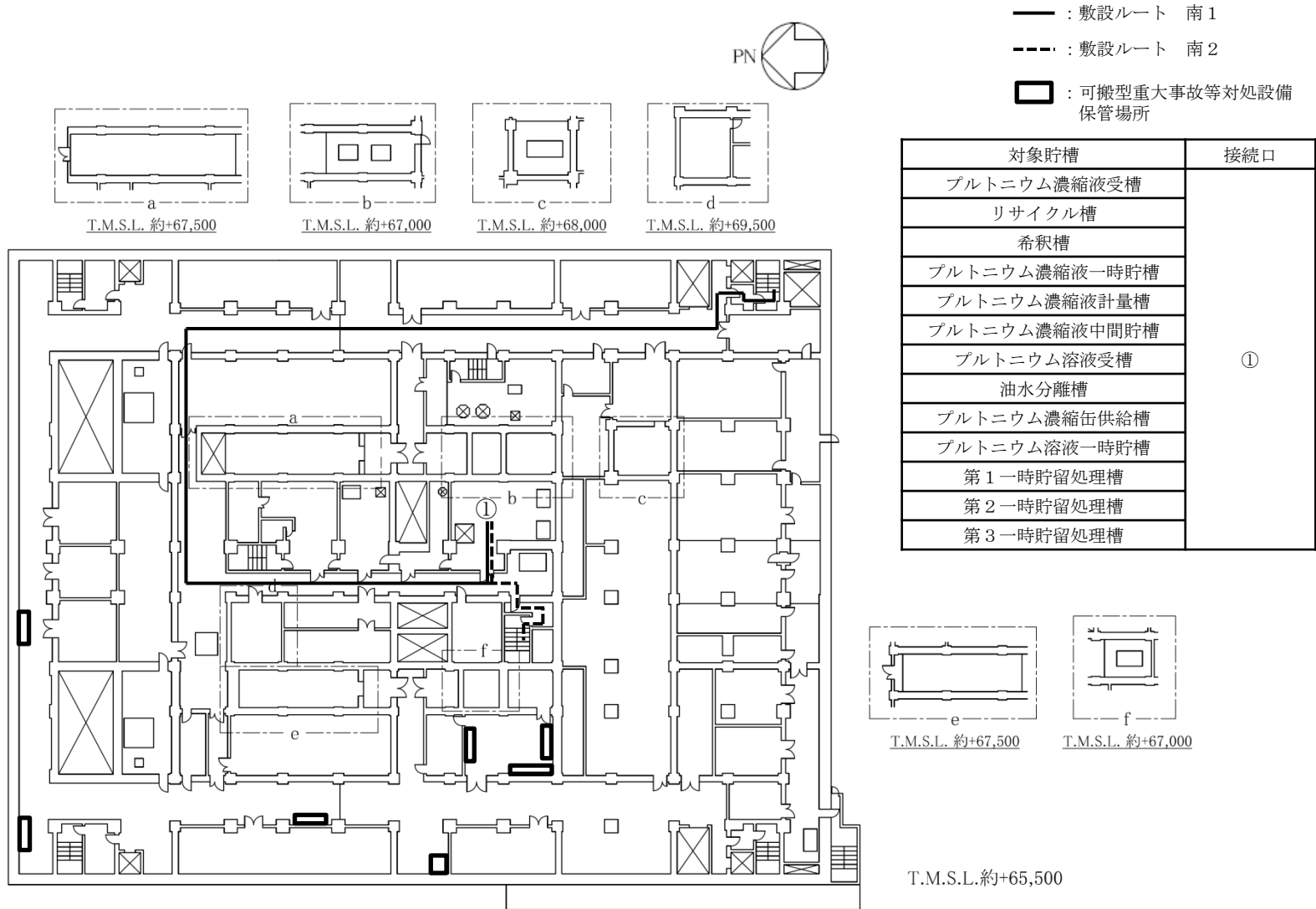


- : 敷設ルート 南1
- - - : 敷設ルート 南2
- : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所

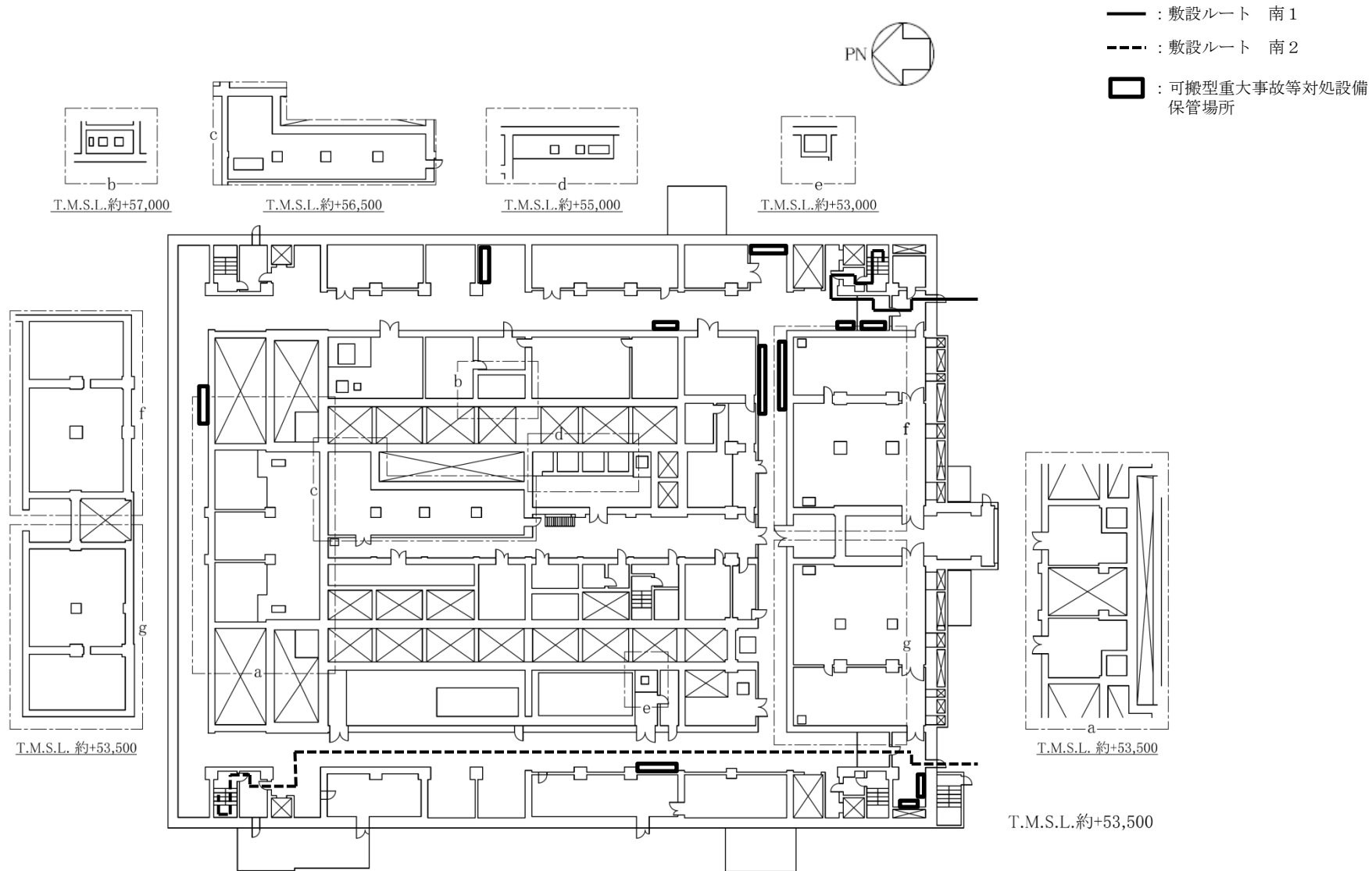


T.M.S.L.約+64,000

第7.2.1-19図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第1接続口）（地上3階）



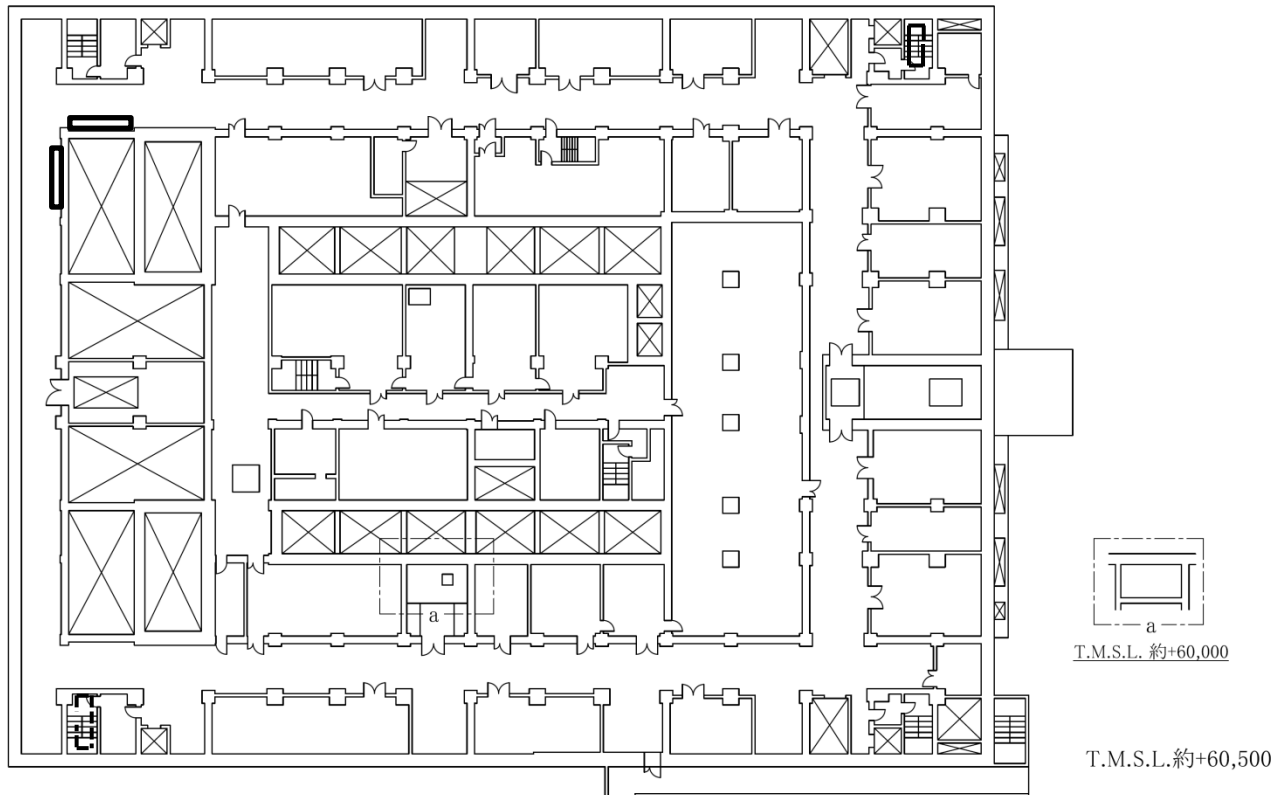
第7.2.1-20図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第1接続口）（地上4階）



第7.2.1-21図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第2接続口）（地上1階）



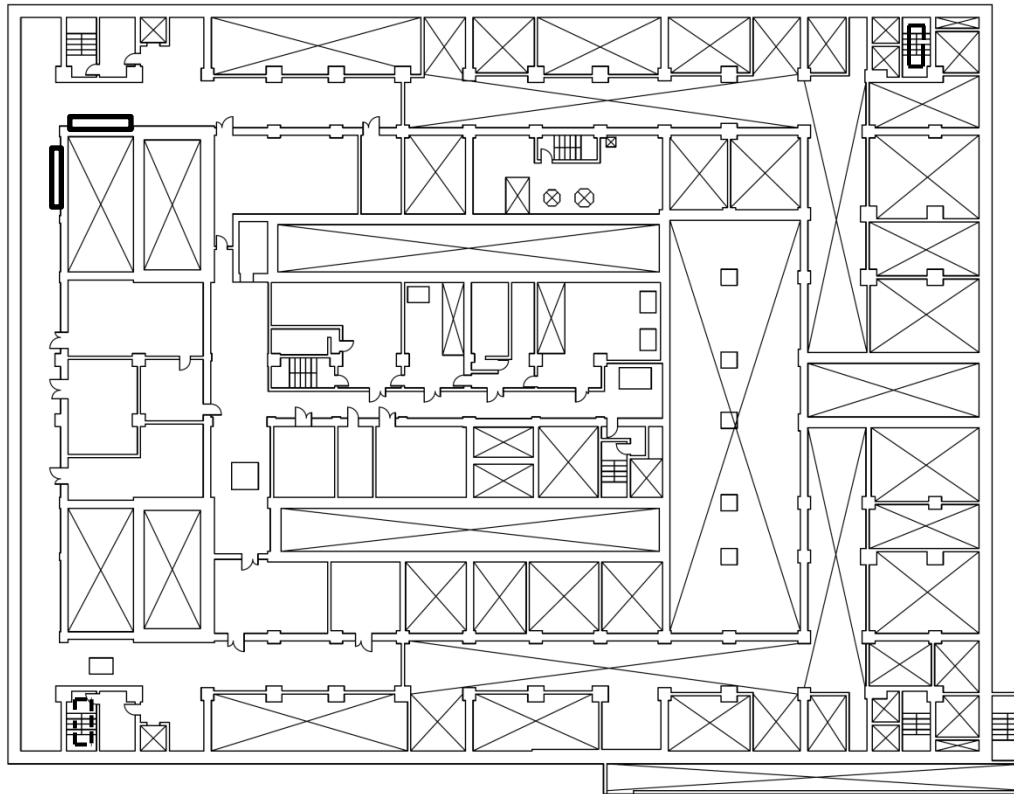
- : 敷設ルート 南1
- - - : 敷設ルート 南2
- : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所



第7.2.1-22図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第2接続口）（地上2階）

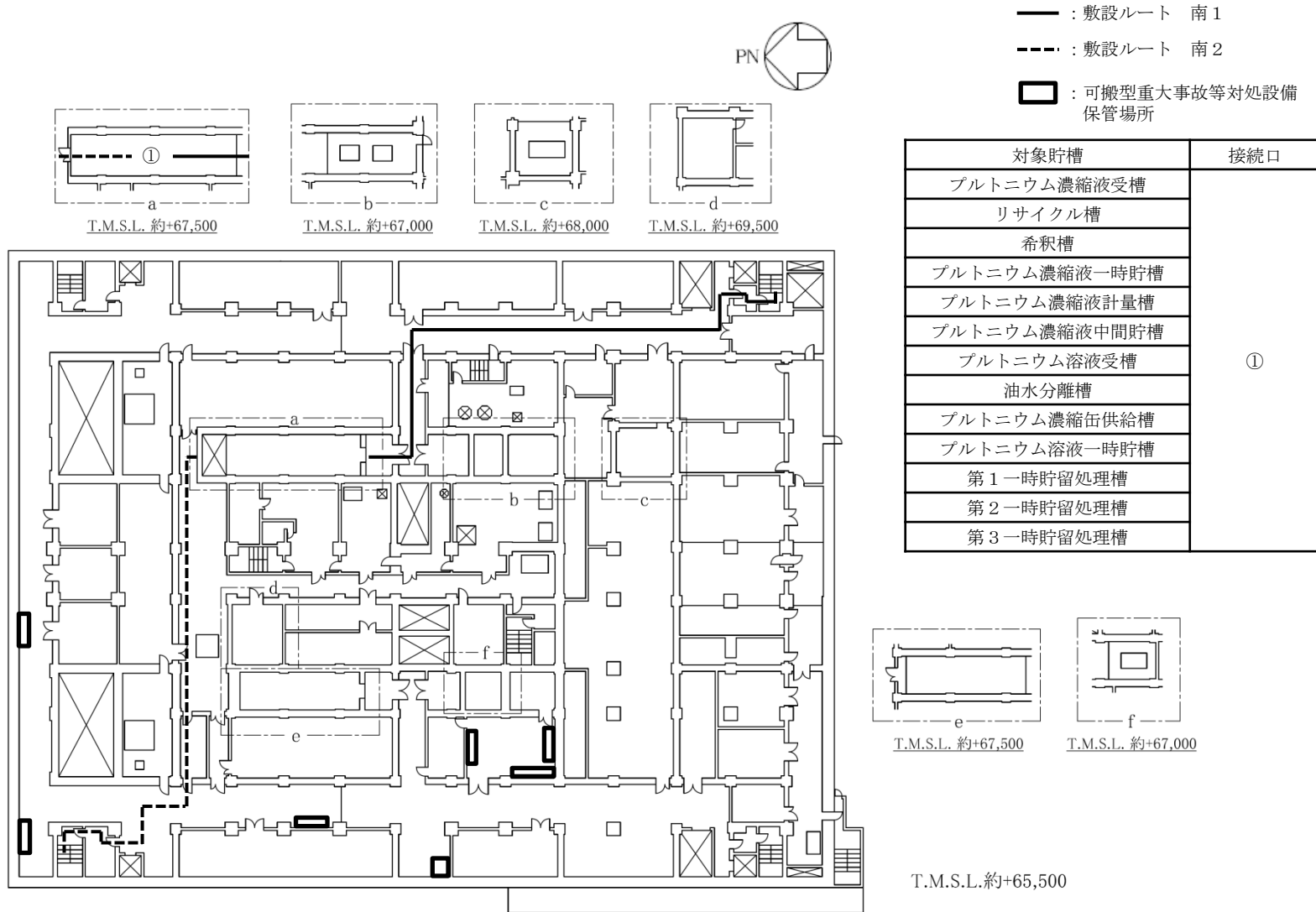


- : 敷設ルート 南1
- - - : 敷設ルート 南2
- : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所

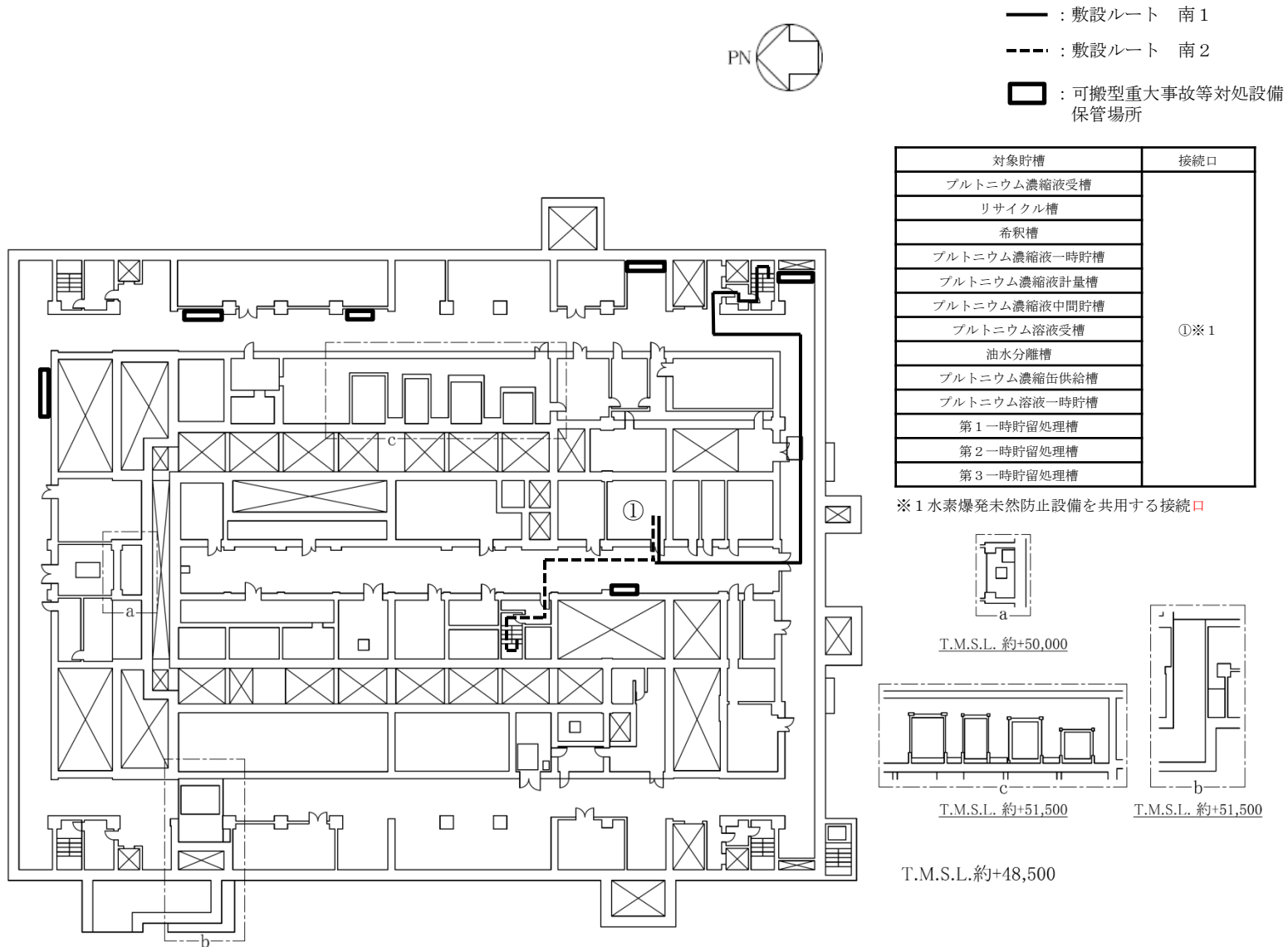


T.M.S.L.約+64,000

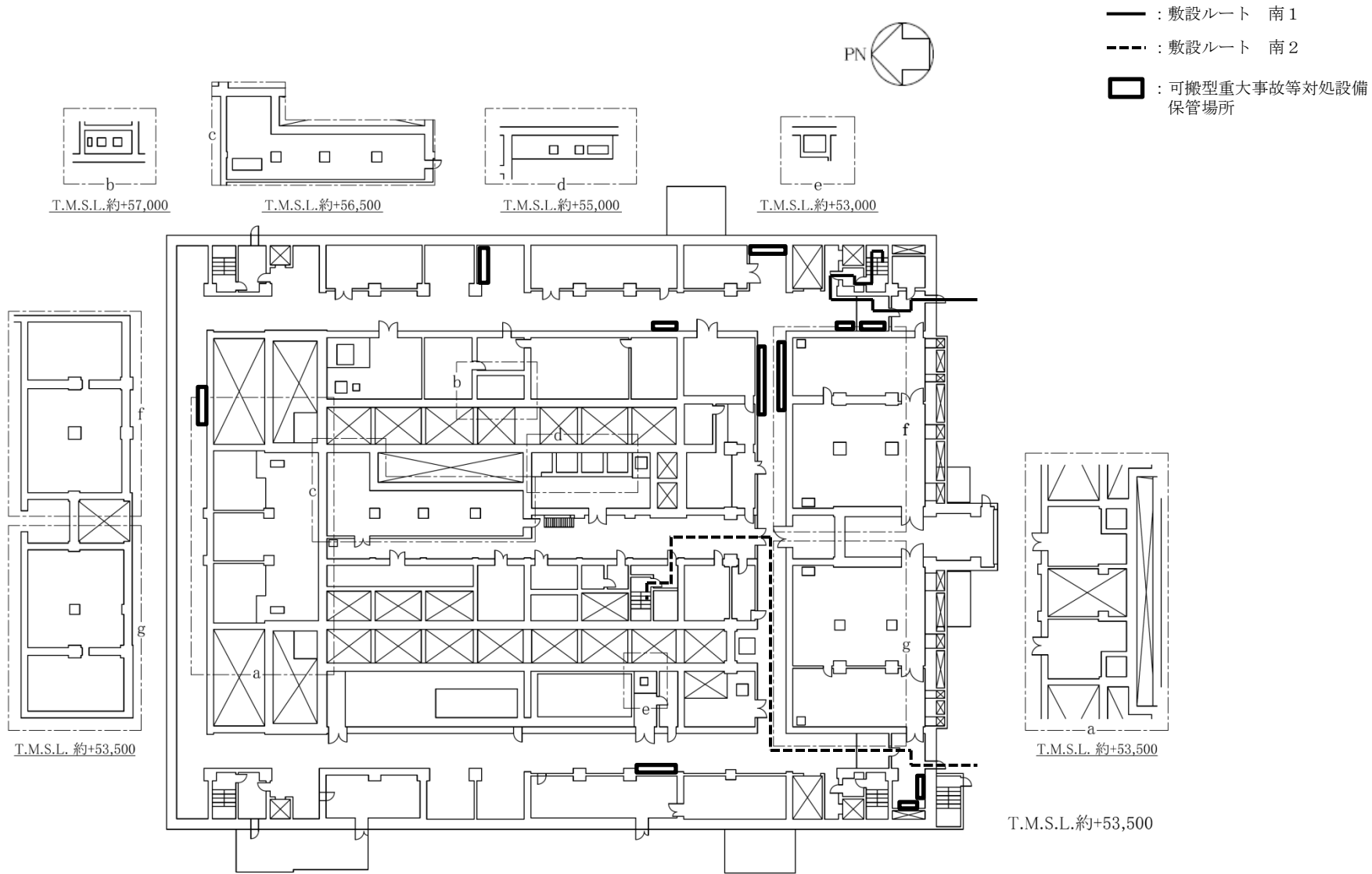
第7.2.1-23図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第2接続口）（地上3階）



第7.2.1-24図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第2接続口）（地上4階）



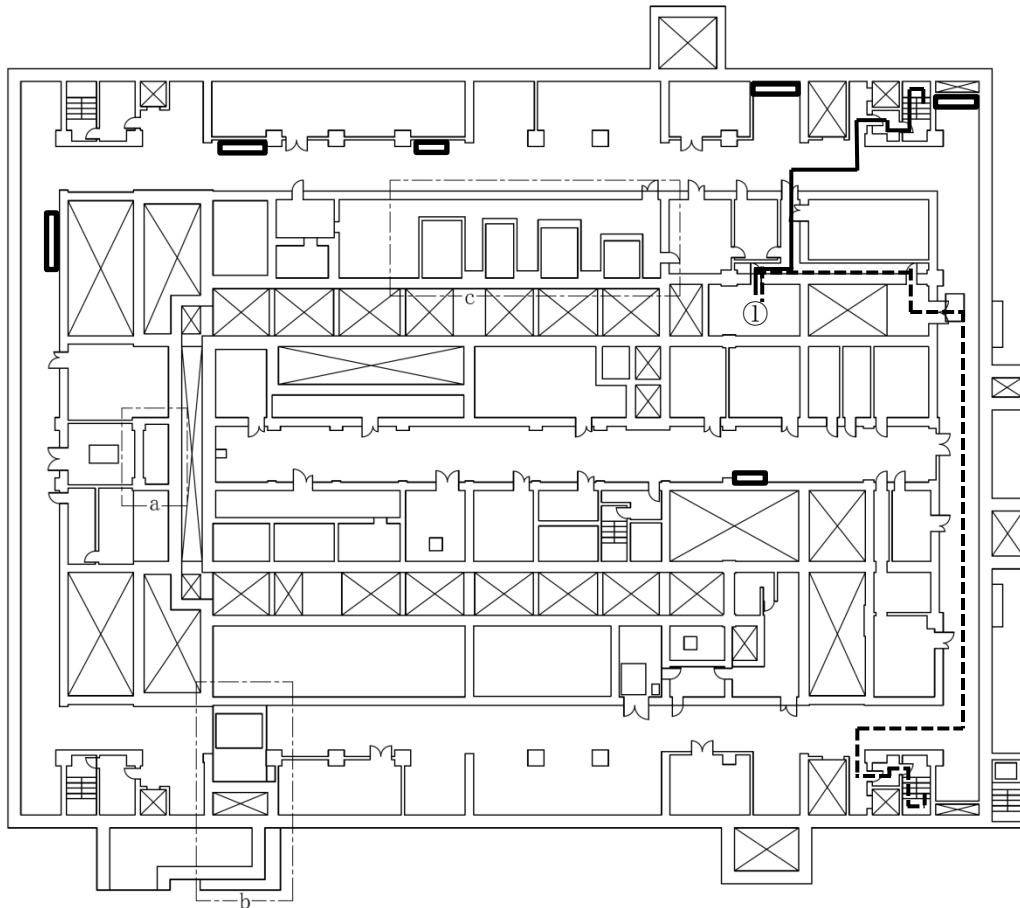
第7.2.1-25図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第3接続口）（地下1階）



第7.2.1-26図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第3接続口）（地上1階）

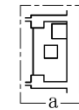


- : 敷設ルート 南 1
- - - : 敷設ルート 南 2
- : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所

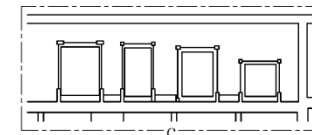


対象貯槽	接続口
プルトニウム濃縮液受槽	①※1
リサイクル槽	
希釈槽	
プルトニウム濃縮液一時貯槽	
プルトニウム濃縮液計量槽	
プルトニウム濃縮液中間貯槽	
プルトニウム溶液受槽	
油水分離槽	
プルトニウム濃縮液供給槽	
プルトニウム溶液一時貯槽	
第1一時貯留処理槽	
第2一時貯留処理槽	
第3一時貯留処理槽	

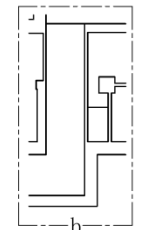
※1 水素爆発未然防止設備を共用する接続口



T.M.S.L. 約+50,000



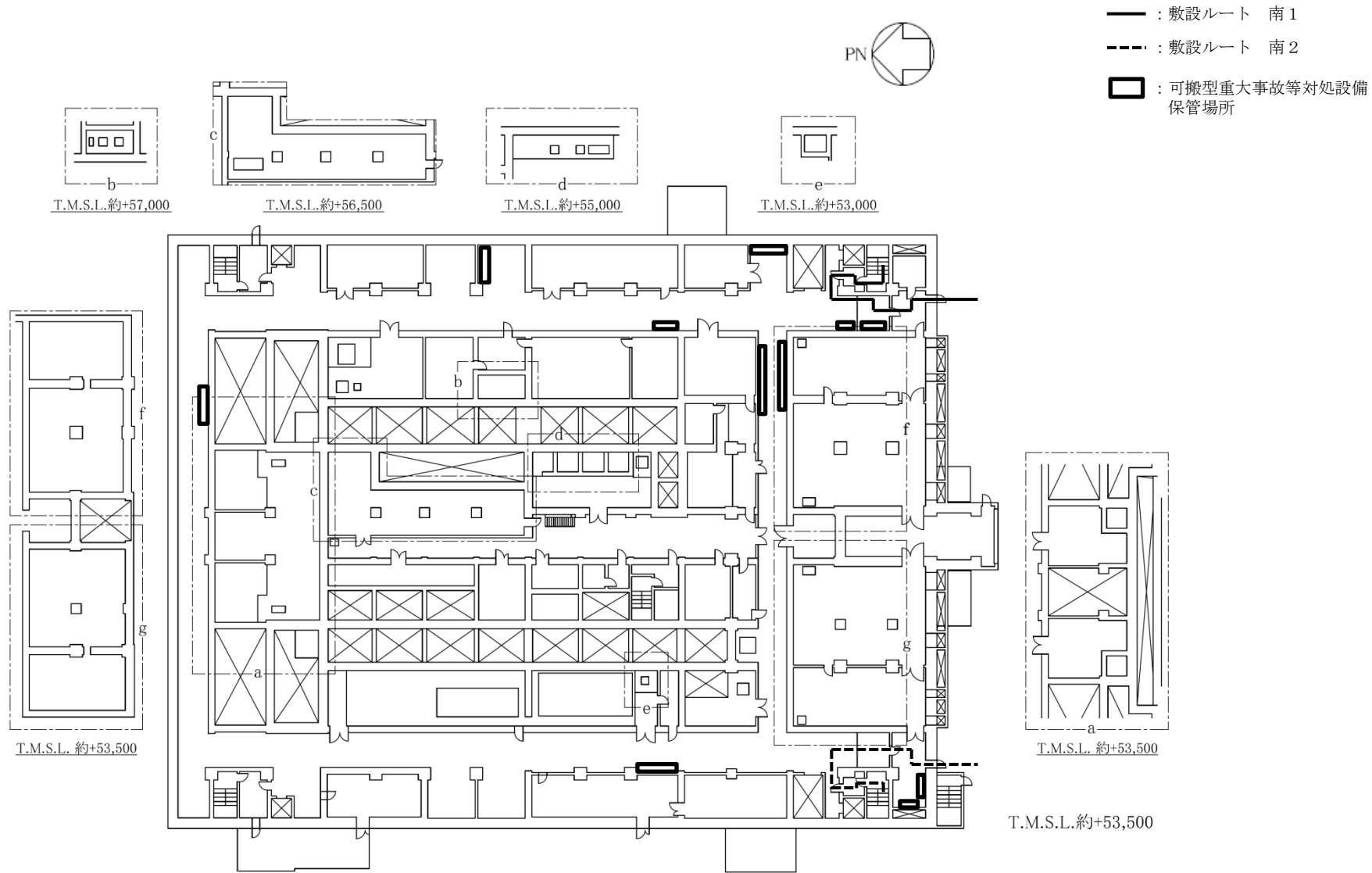
T.M.S.L. 約+51,500



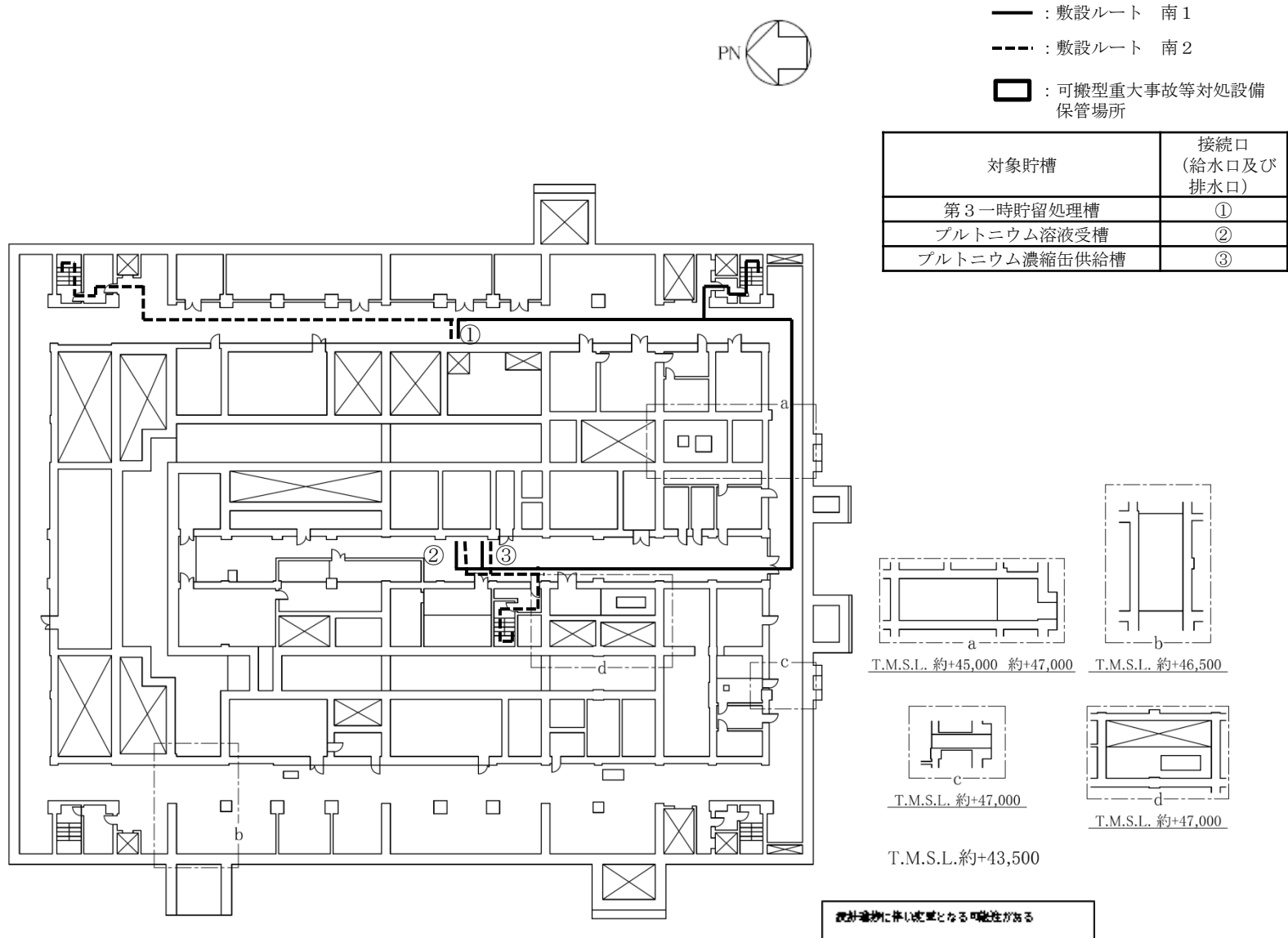
T.M.S.L. 約+51,500

T.M.S.L. 約+48,500

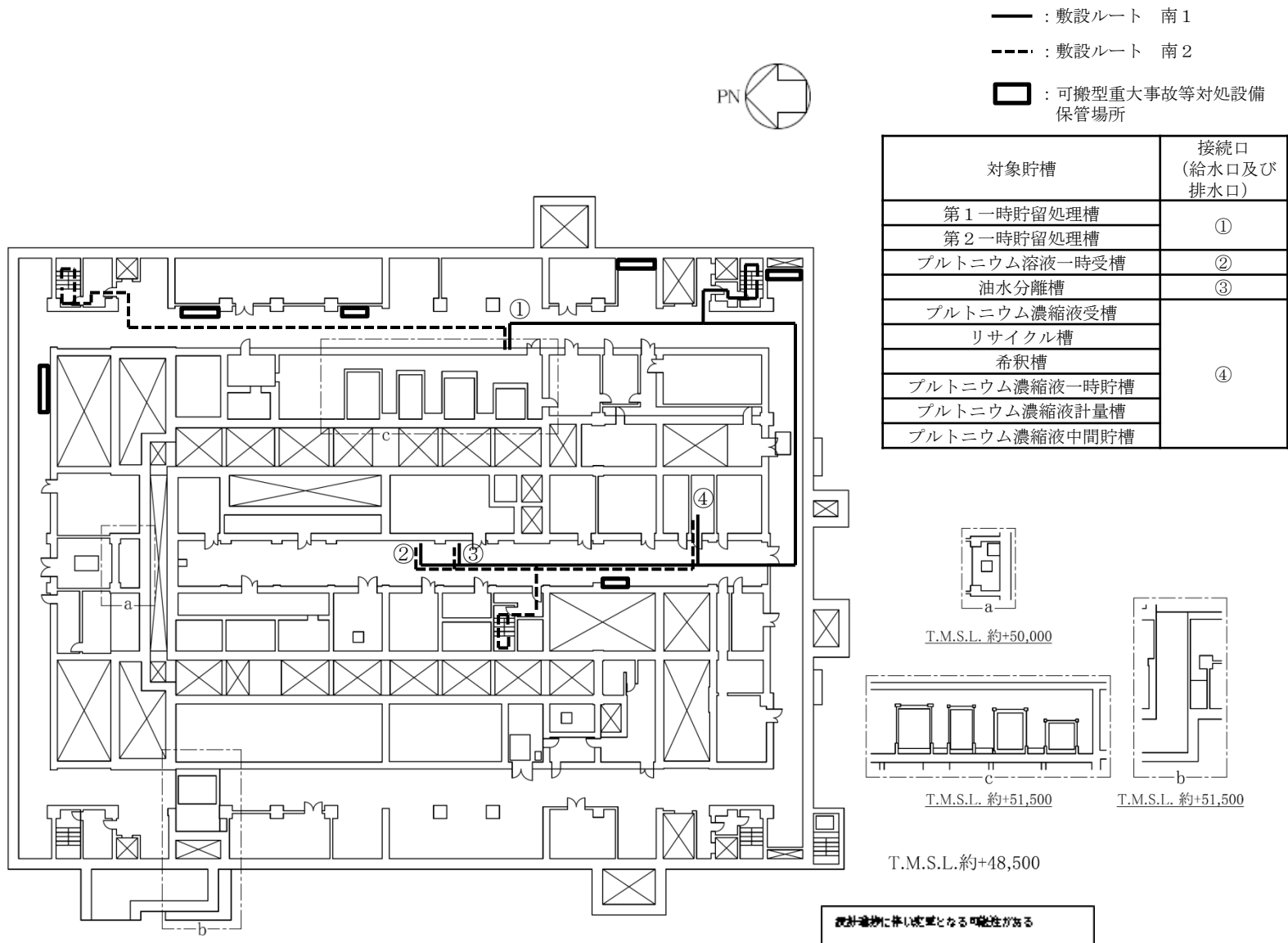
第7.2.1-27図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第4接続口）（地下1階）



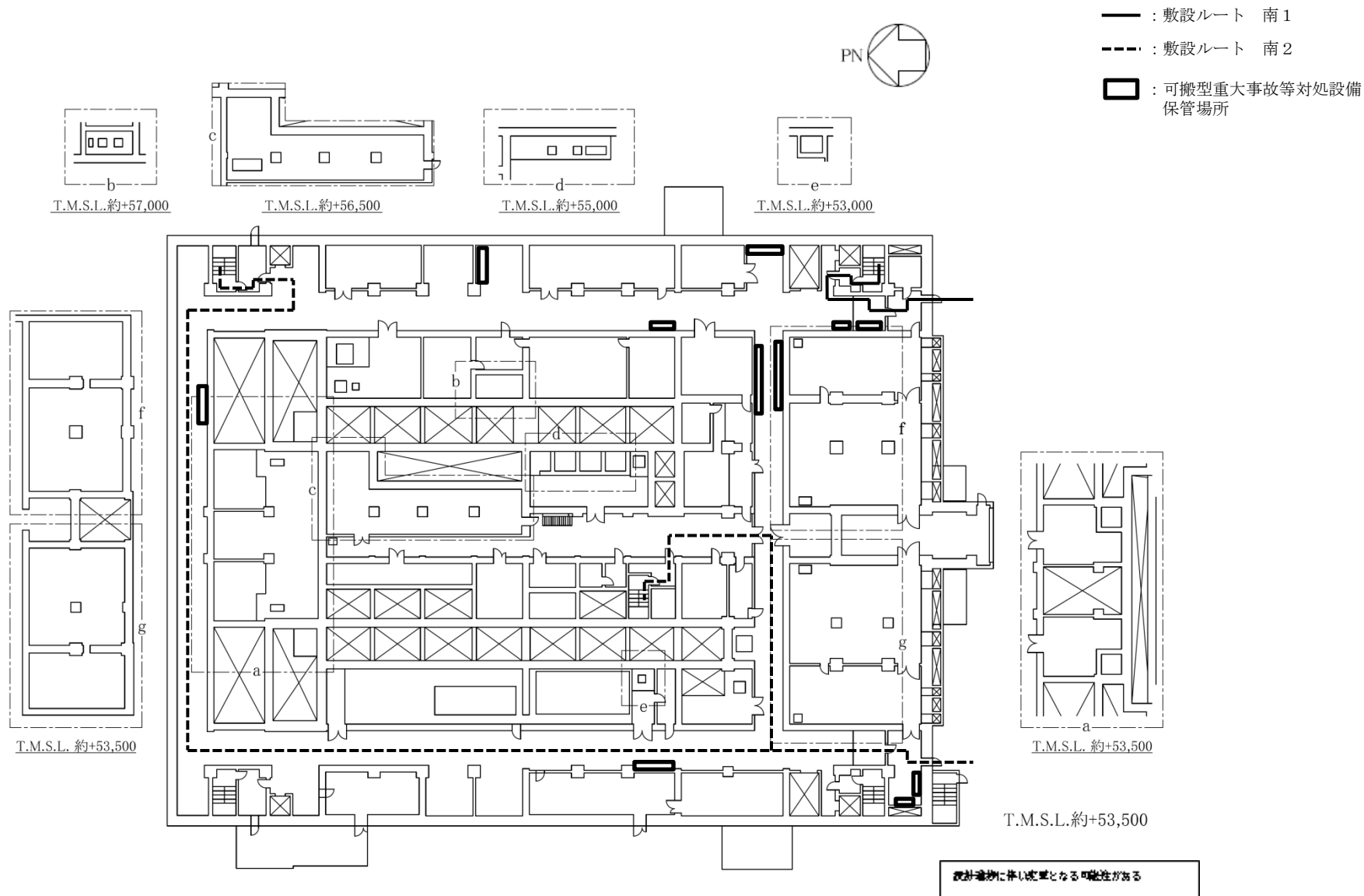
第7.2.1-28図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 拡大防止対策の建屋内ホース敷設ルート（第4接続口）（地上1階）



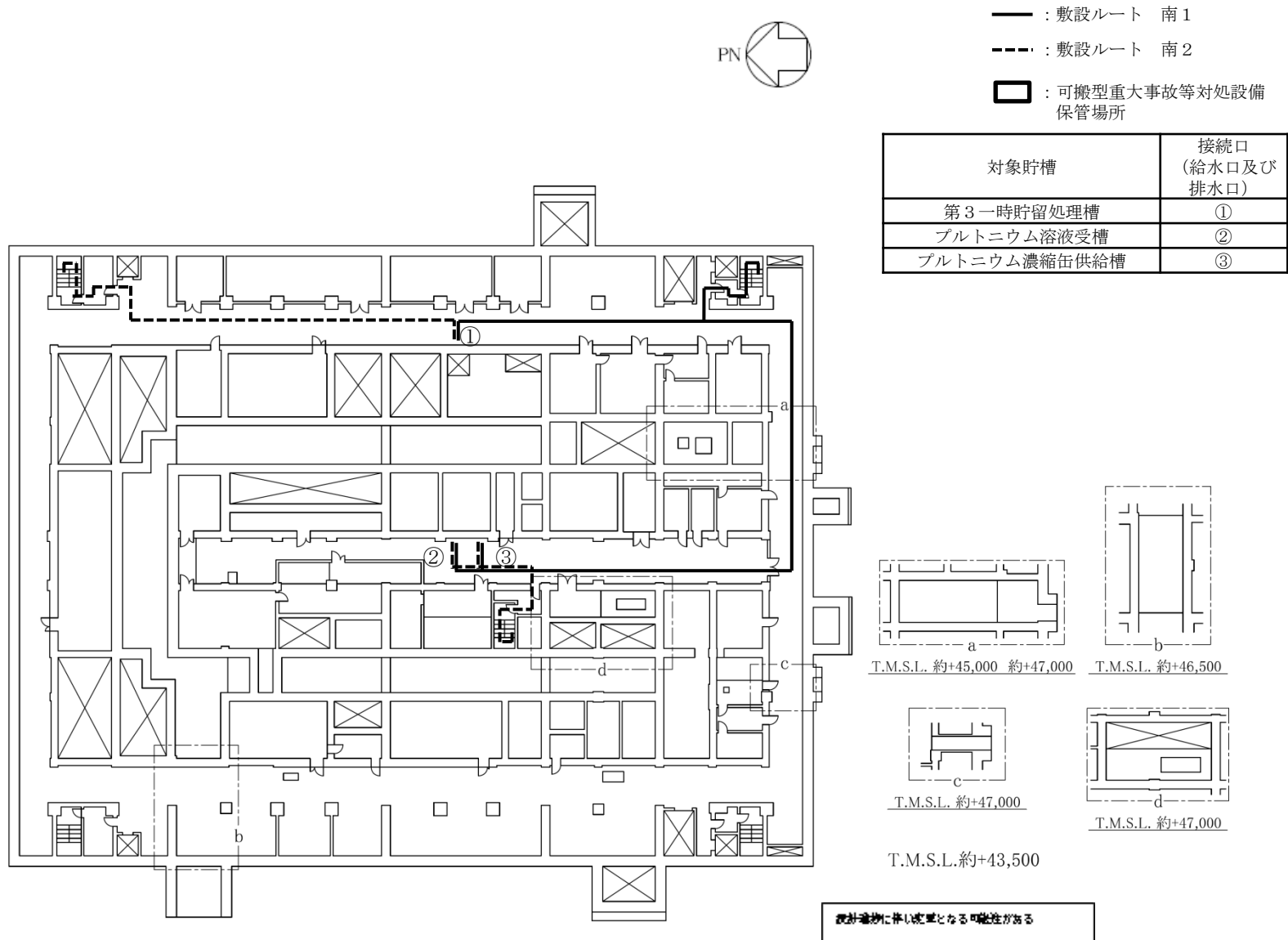
第7.2.1-29図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第1接続口）（地下2階）



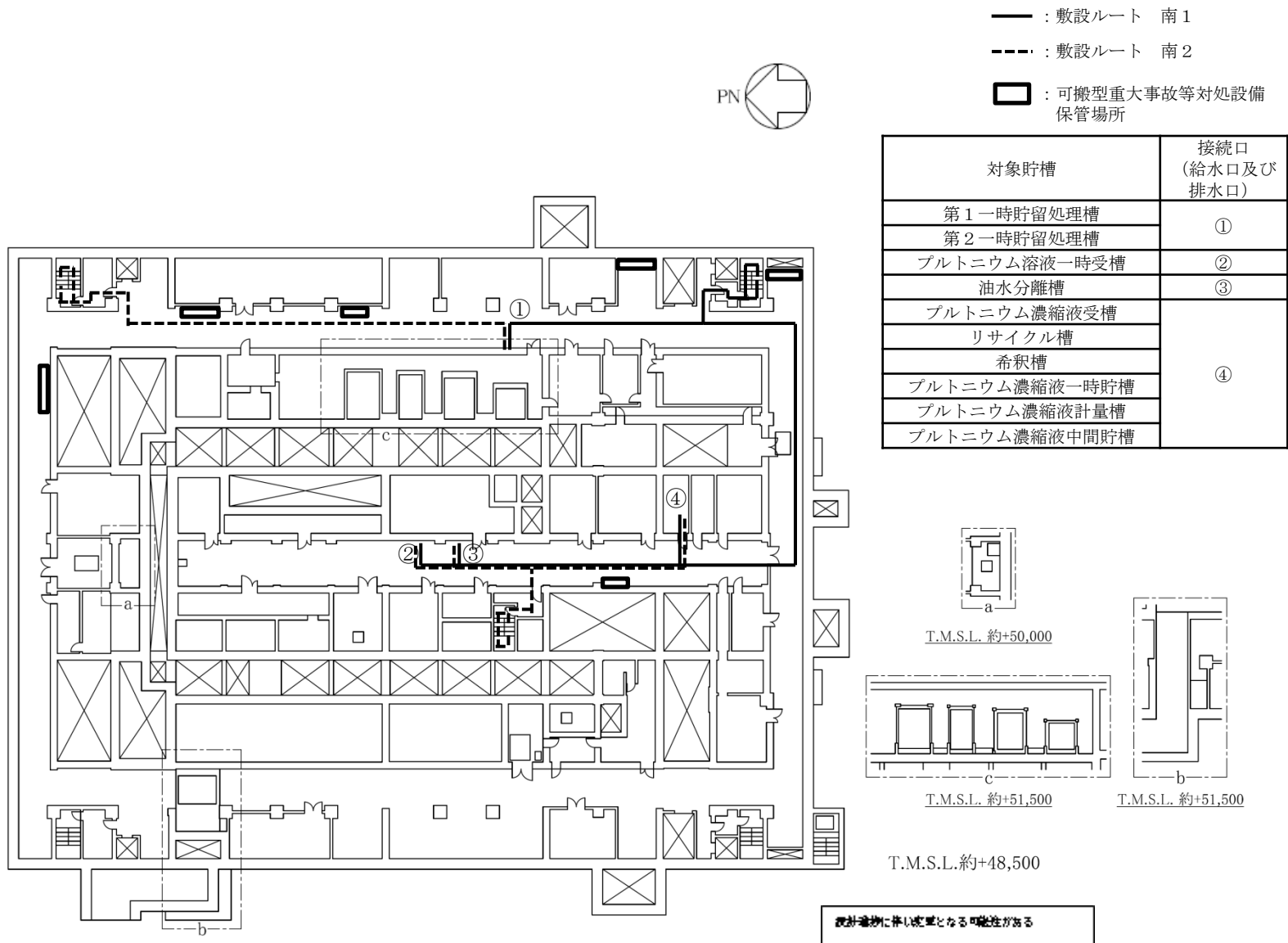
第7.2.1-30図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第1接続口）（地下1階）



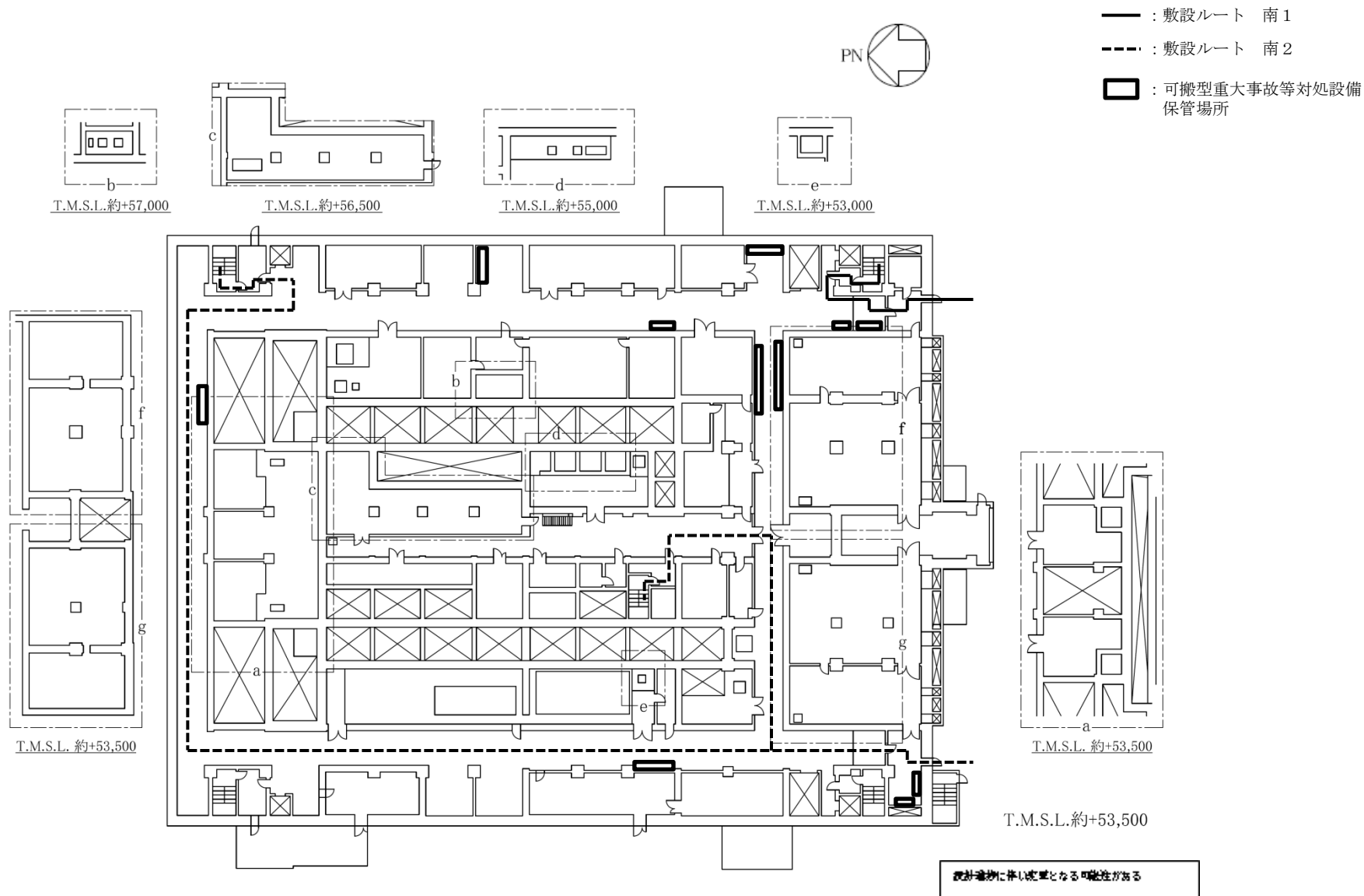
第7.2.1-31図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第1接続口）（地上1階）



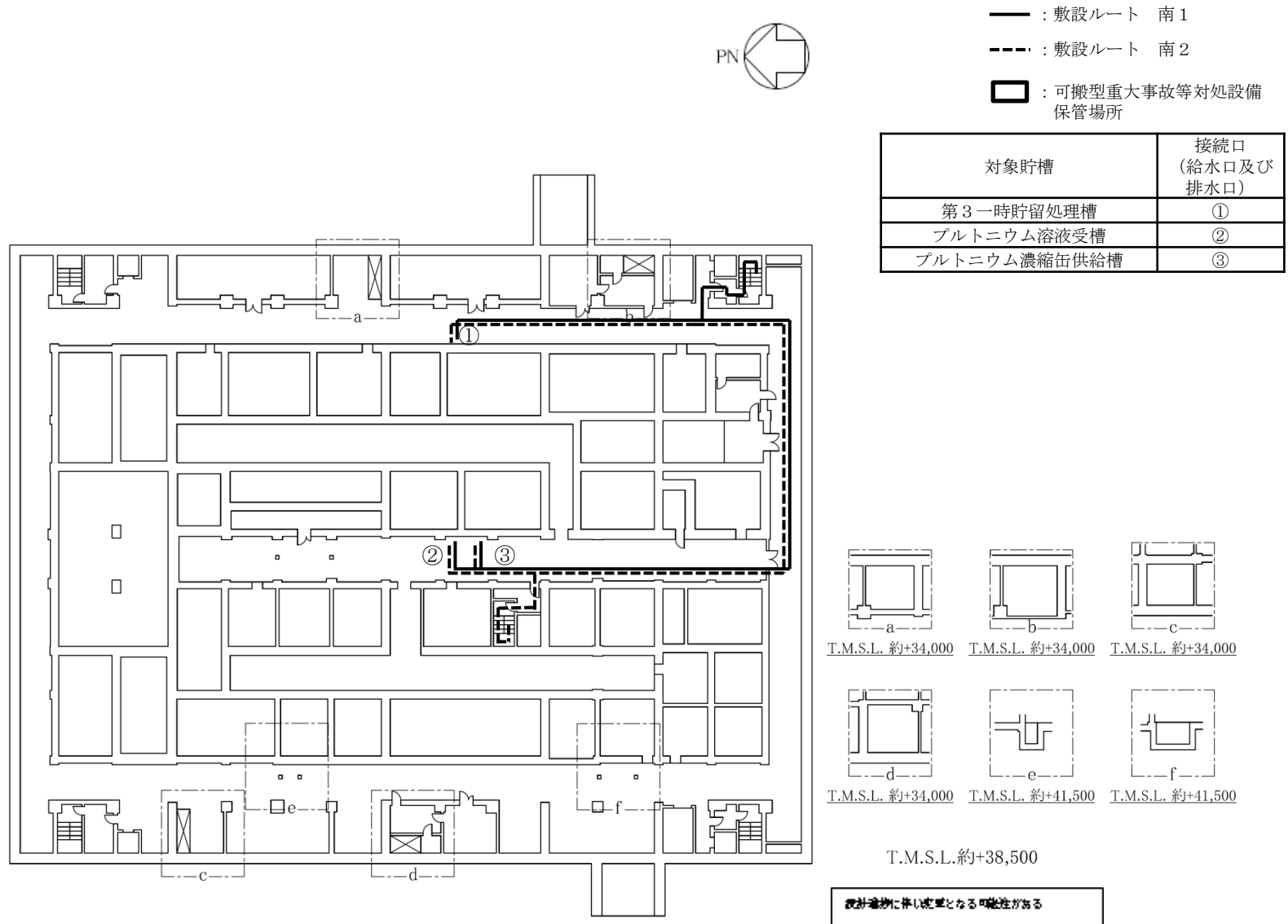
第7.2.1-32図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（B系列およびC系列第1接続口）（地下2階）



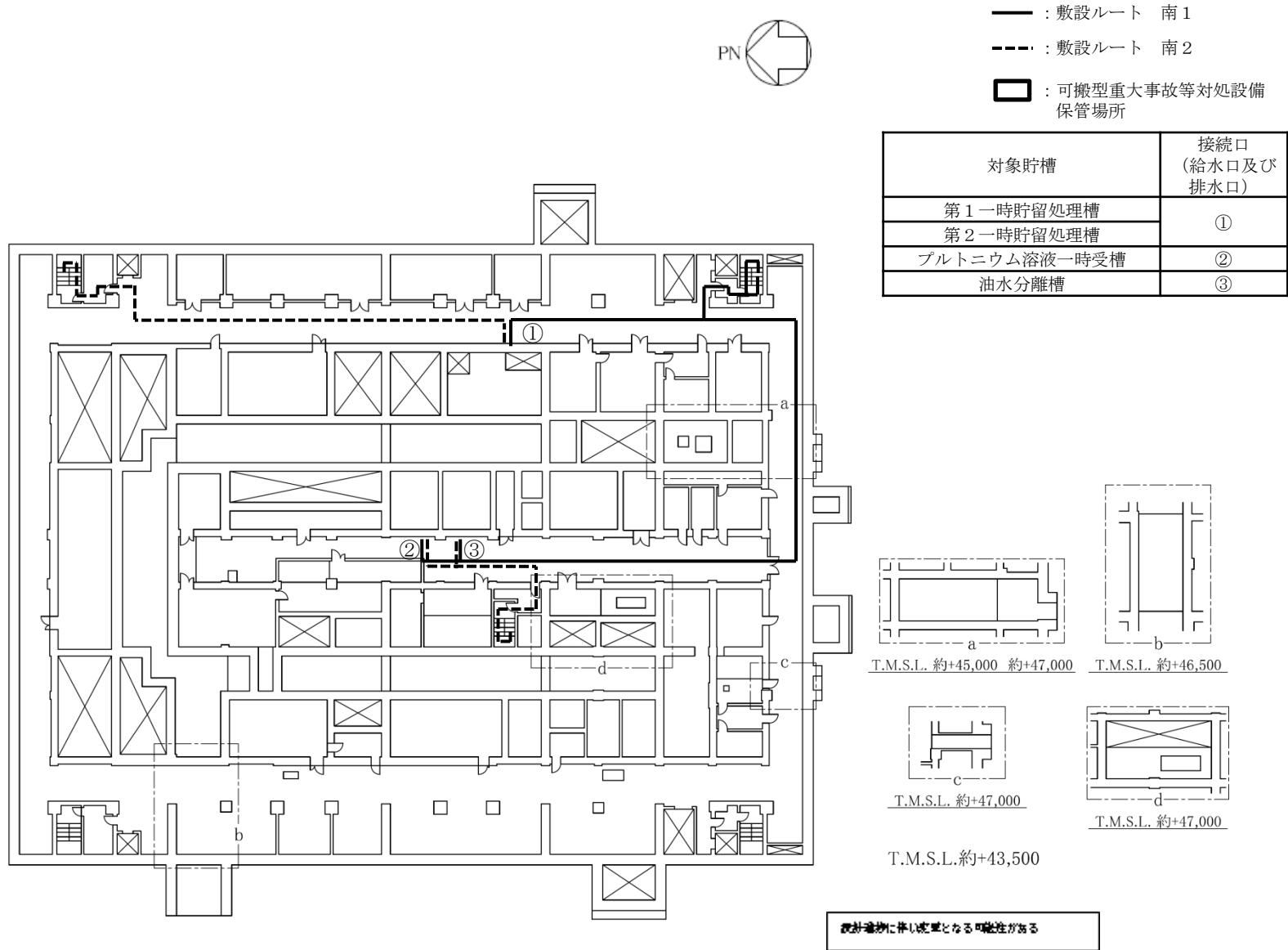
第7.2.1-33図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（B系列およびC系列第1接続口）（地下1階）



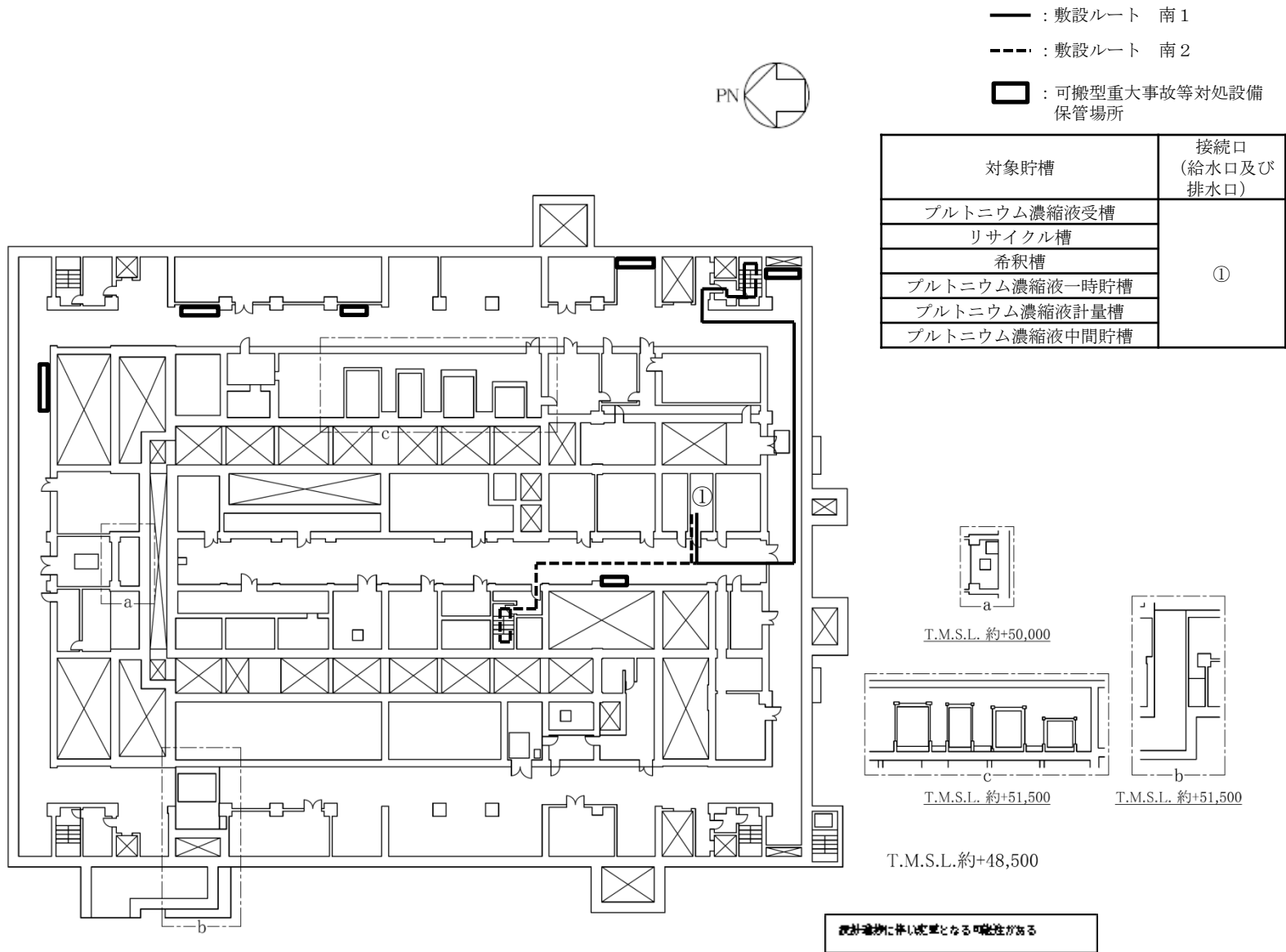
第7.2.1-34図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（B系列およびC系列第1接続口）（地上1階）



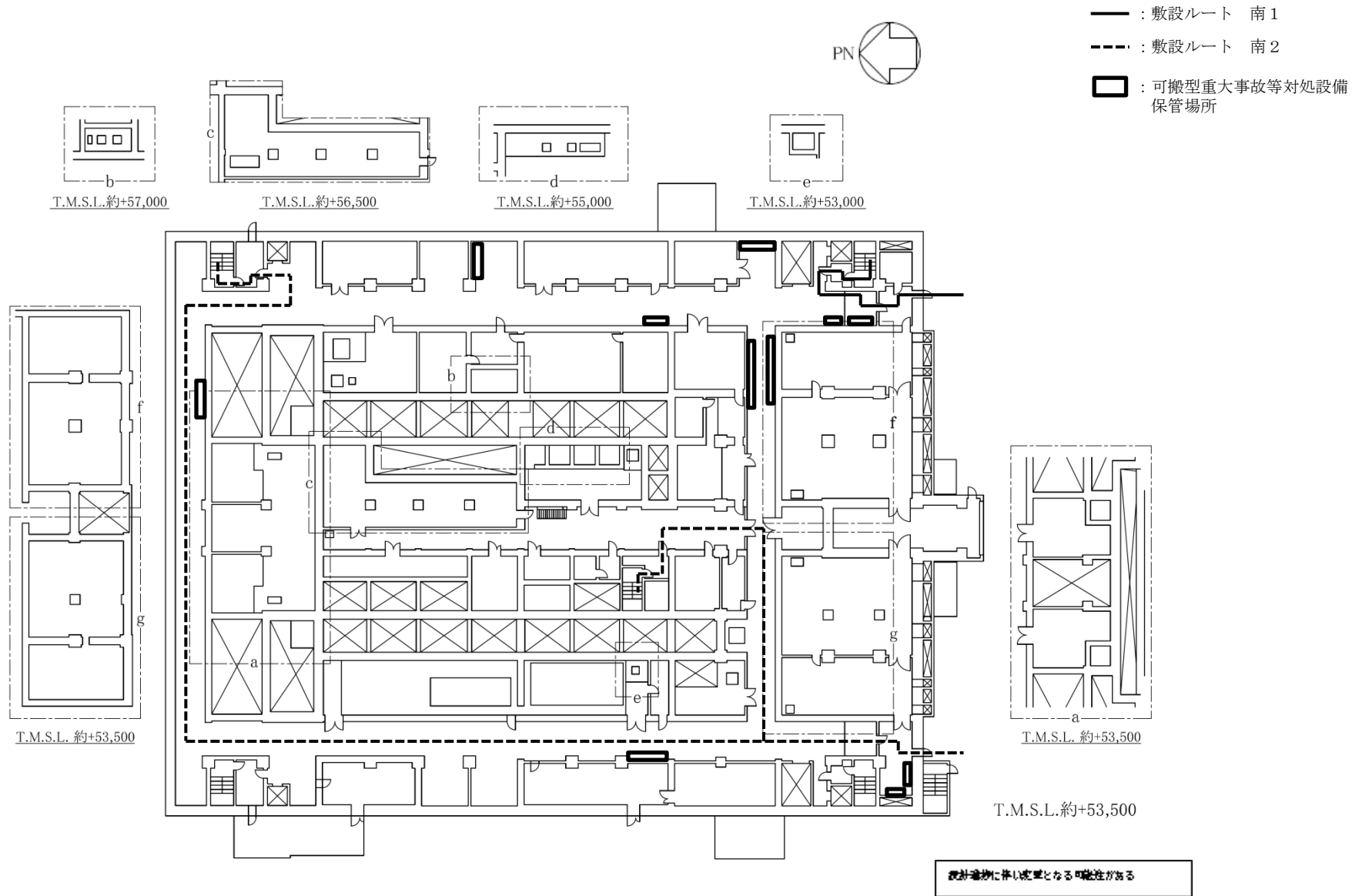
第7.2.1-35図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第2接続口）（地下3階）



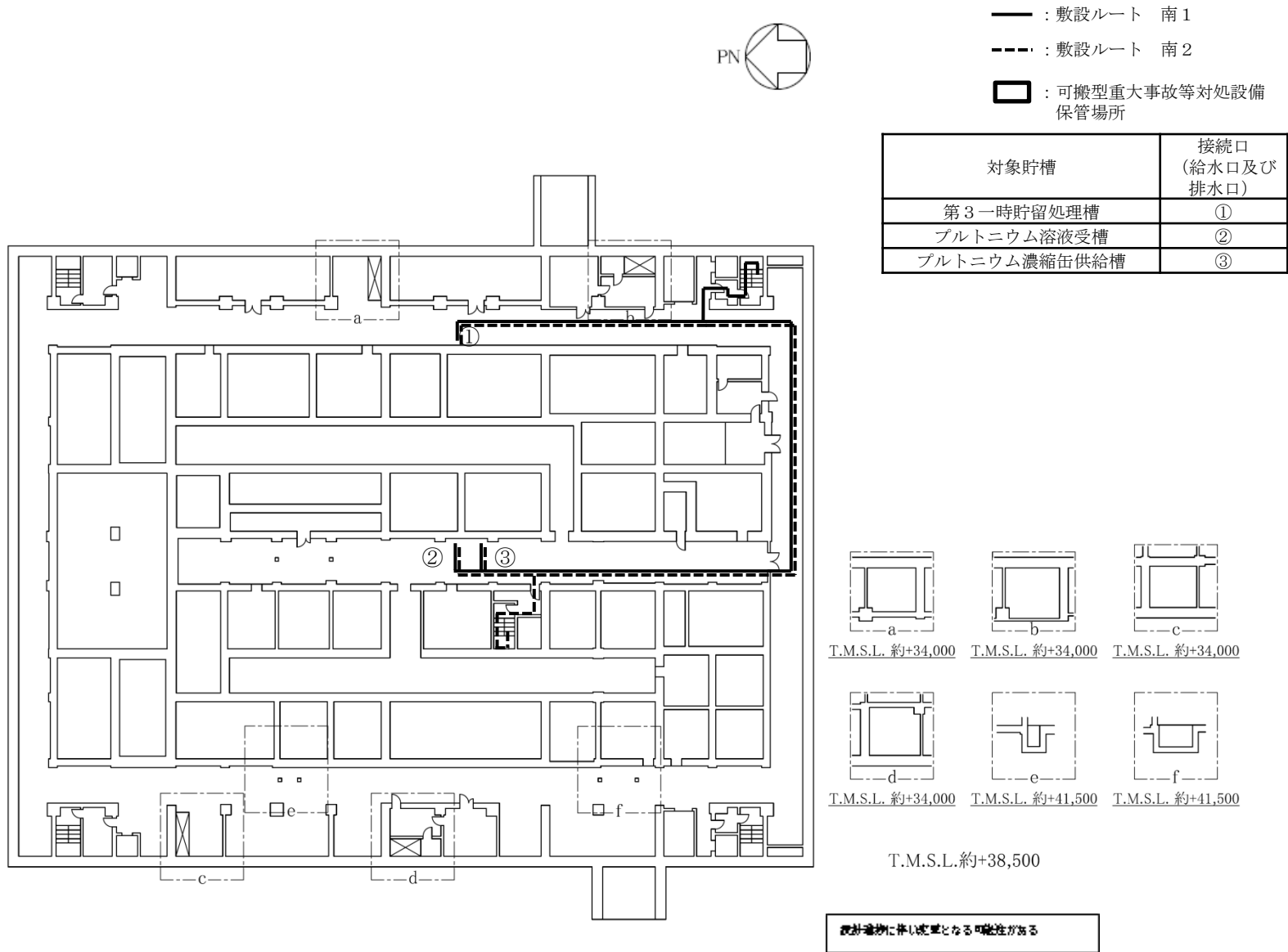
第7.2.1-36図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第2接続口）（地下2階）



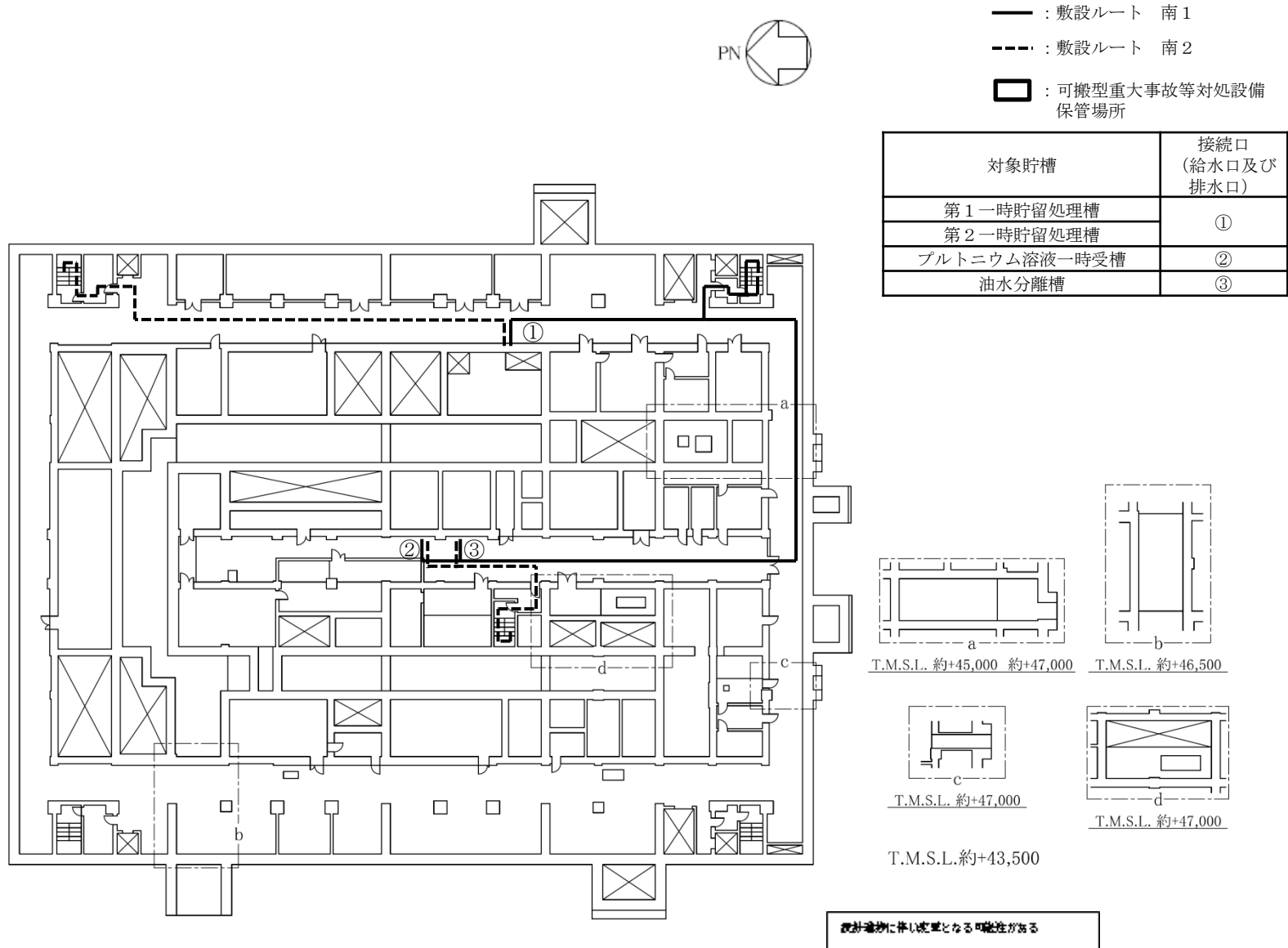
第7.2.1-37図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第2接続口）（地下1階）



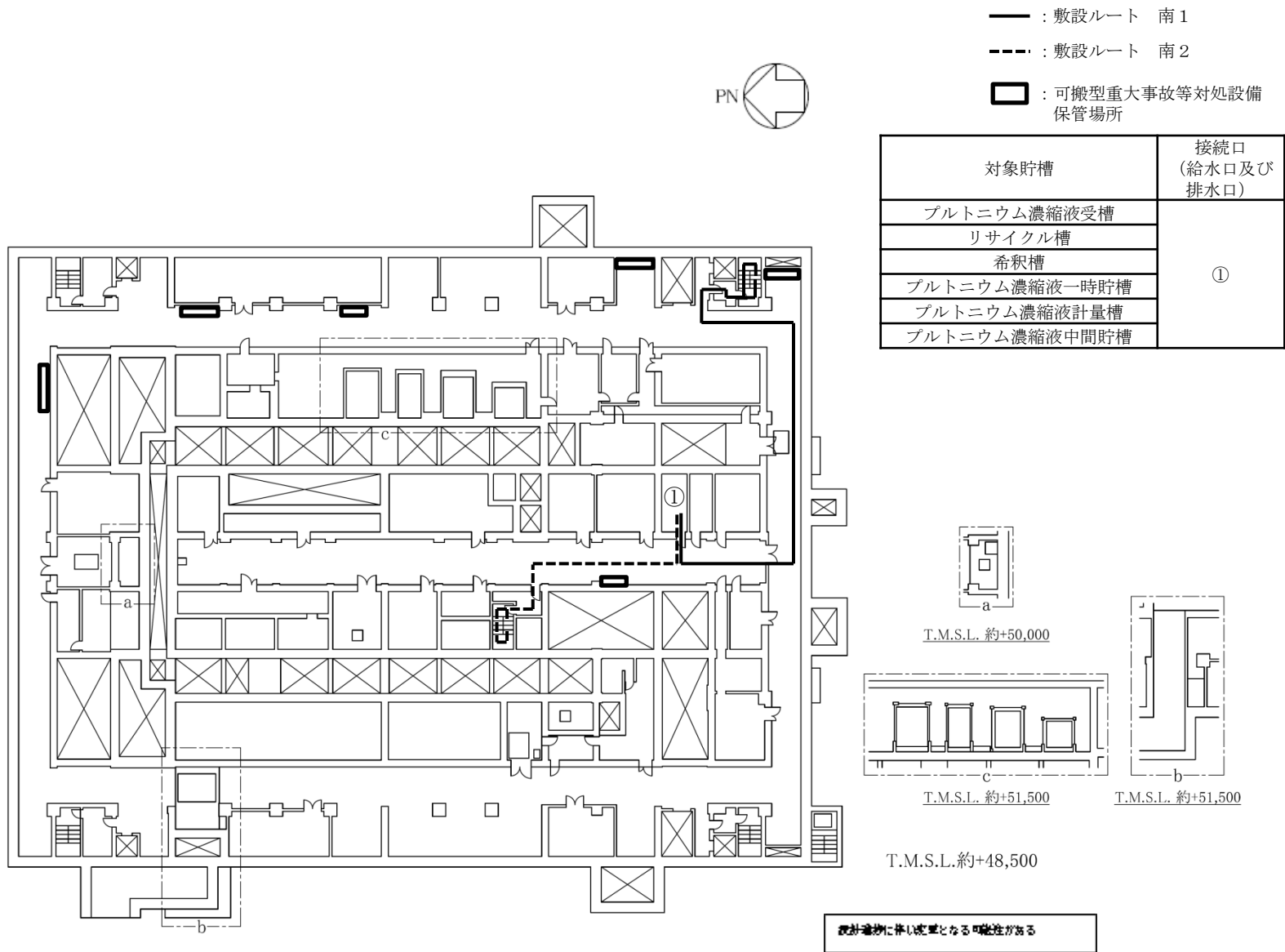
第7.2.1-38図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（A系列およびC系列第2接続口）（地上1階）



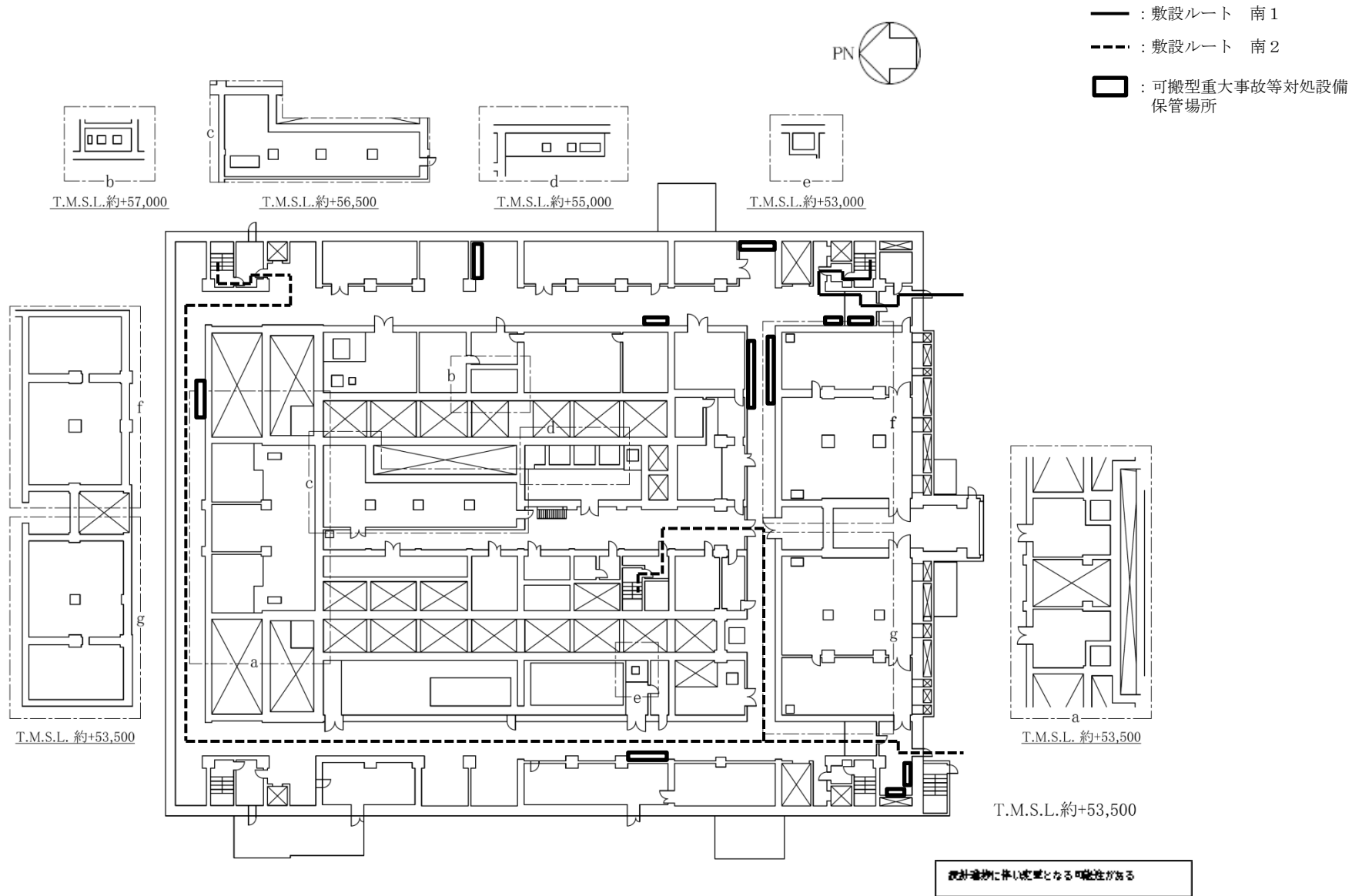
第7.2.1-39図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の
 発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）
 （B系列およびC系列第2接続口）（地下3階）



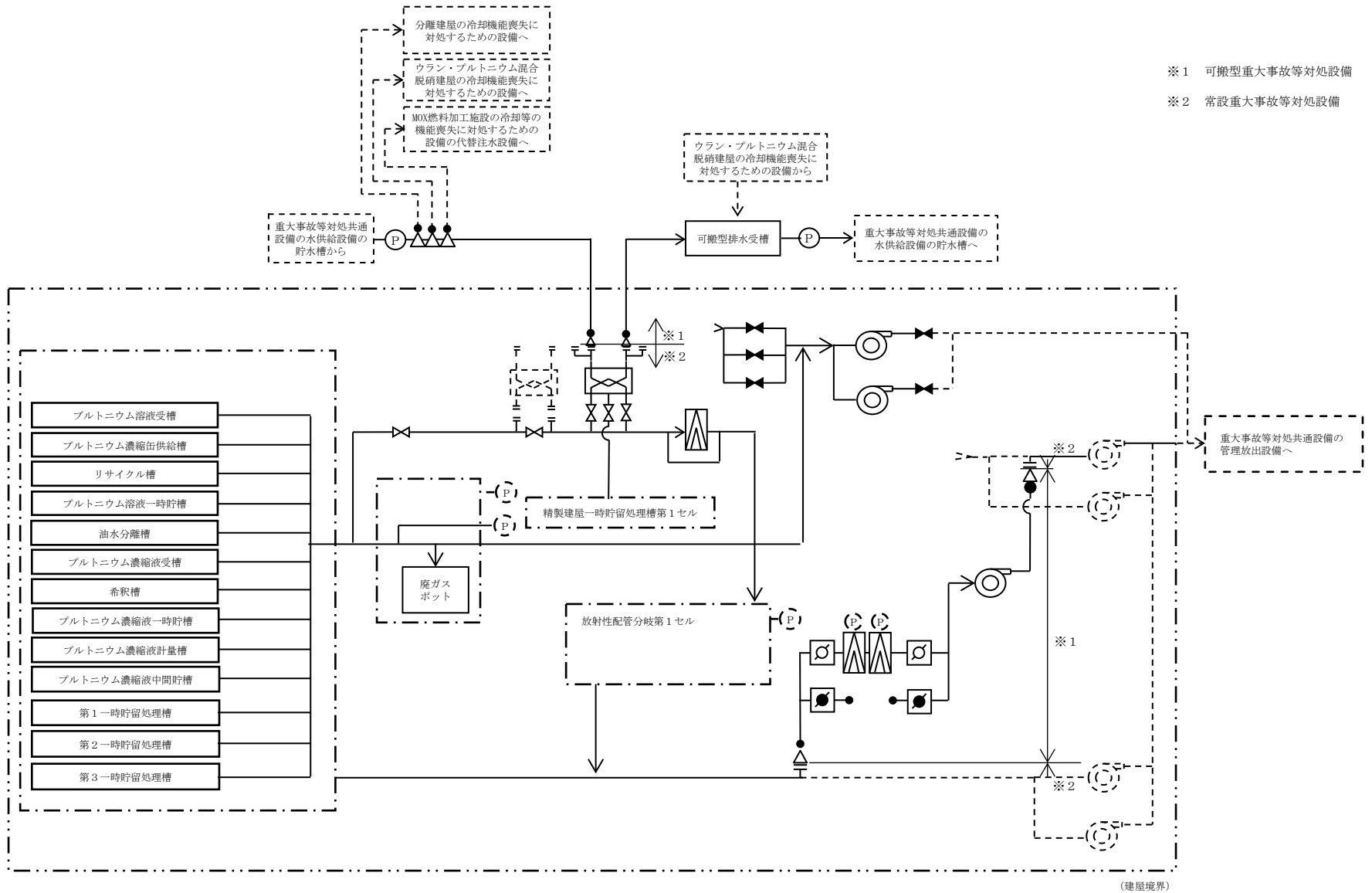
第7.2.1-40図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（B系列およびC系列第2接続口）（地下2階）



第7.2.1-41図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（B系列およびC系列第2接続口）（地下1階）

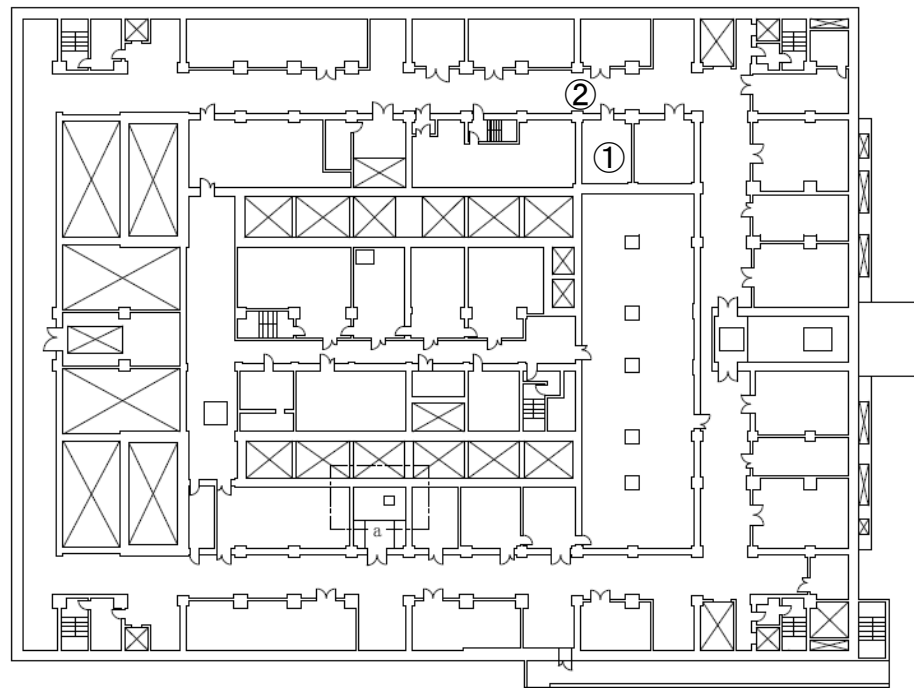


第7.2.1-42図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の発生防止対策の建屋内ホース敷設ルート（冷却コイル通水）（B系列およびC系列第2接続口）（地上1階）

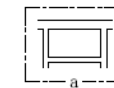


本図は、精製建屋蒸発乾固換気系統遮断・セル内導出設備及び放出影響緩和設備の第1接続口の接続例である。精製建屋蒸発乾固換気系統遮断・セル内導出設備及び放出影響緩和設備の第2接続口に接続した場合も同様の系統である。

第7.2.1-44図 精製建屋の蒸発乾固に対処するための設備の系統概要図（放出影響緩和設備）



		凝縮器通水	
		第1接続口	第2接続口
精製建屋 蒸発乾面	凝縮器	地上2階 ①	地上2階 ②



T.M.S.L. 約+60,000

T.M.S.L. 約+60,500

7.2.1-45 図 「精製建屋の冷却機能喪失事故」の冷却コイル通水接続口配置図（地上2階）

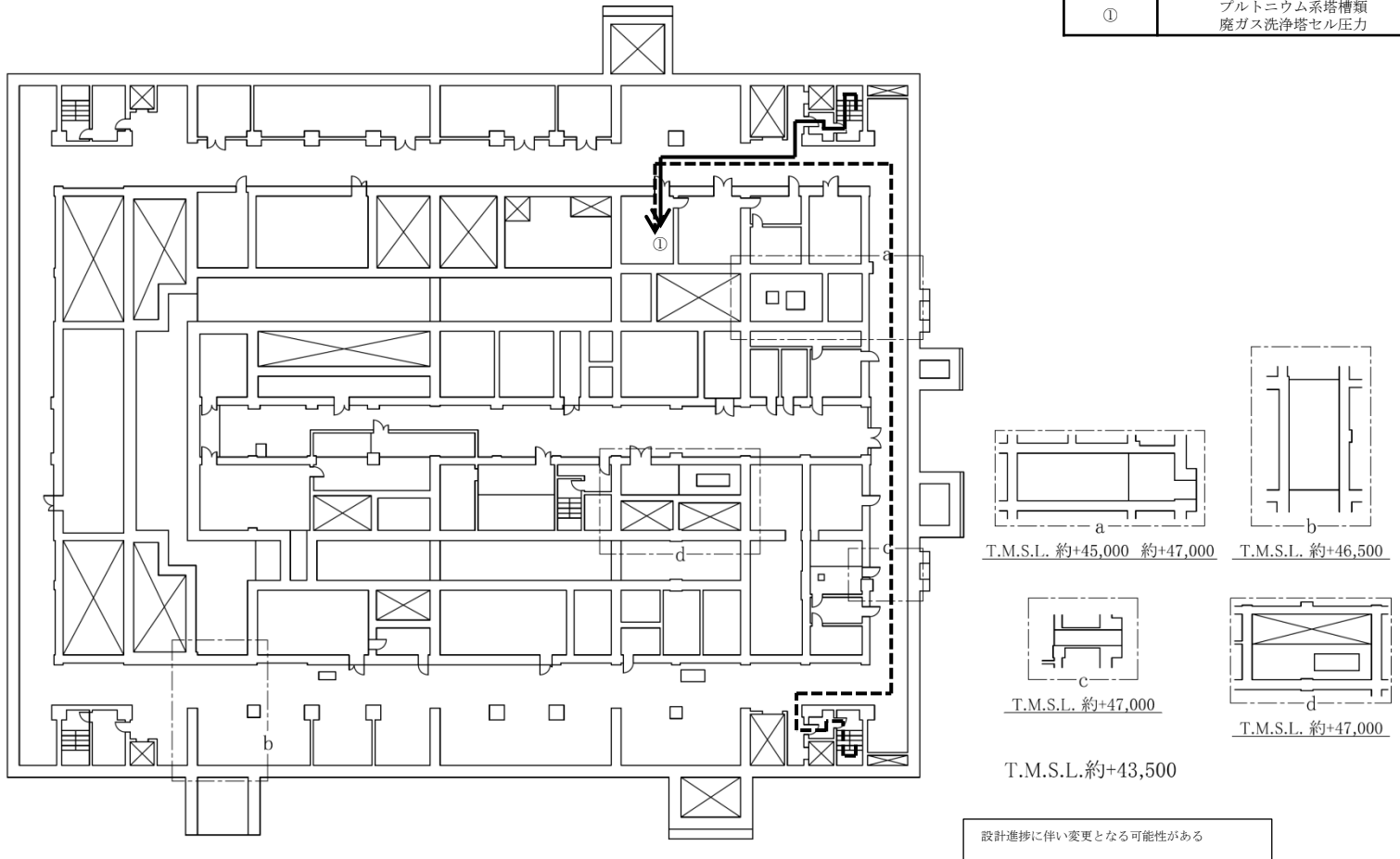
→ : アクセスルート 南1

- -> : アクセスルート 南2

□ : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所

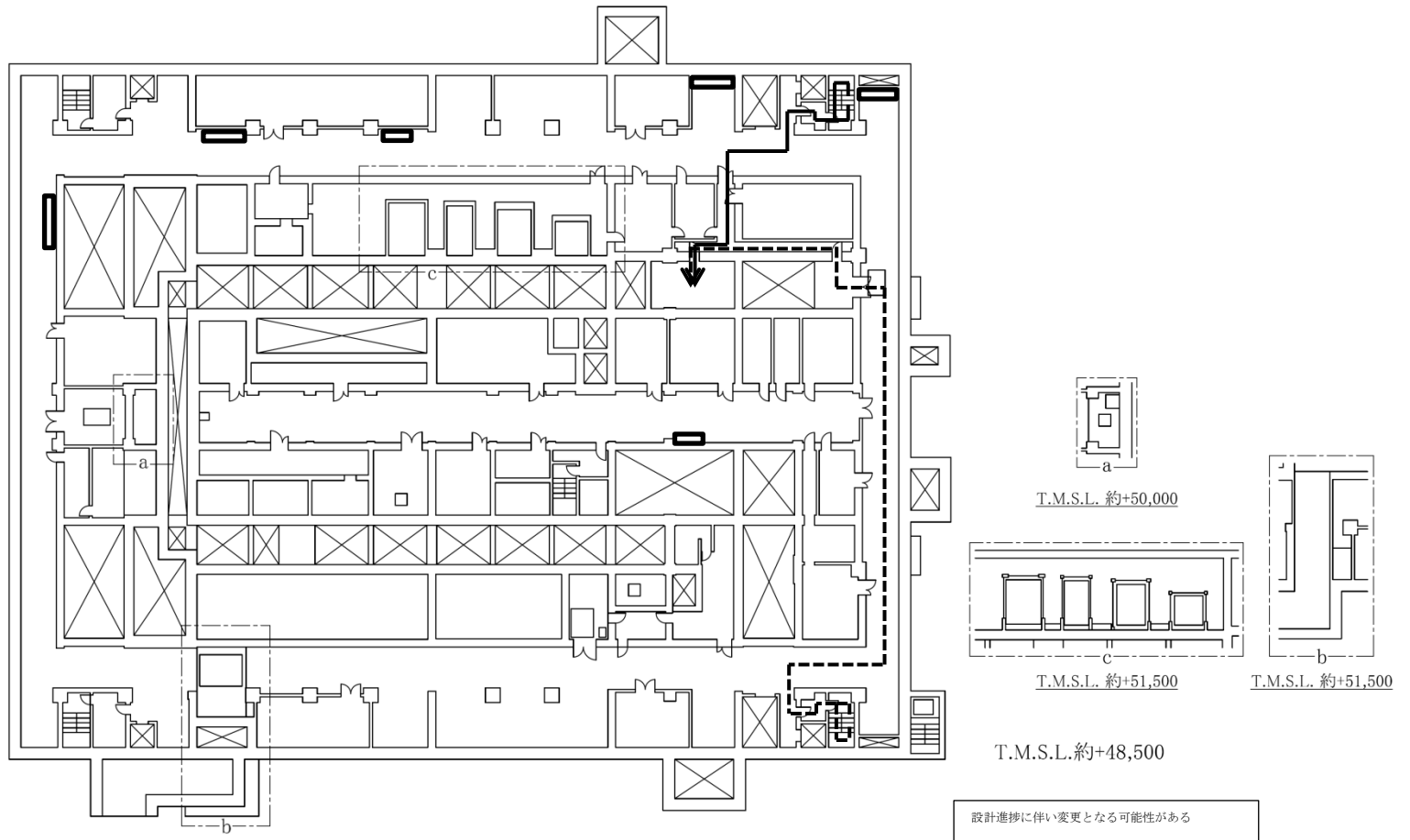


計測場所	監視項目
①	プルトニウム系塔槽類 廃ガス洗浄塔セル圧力

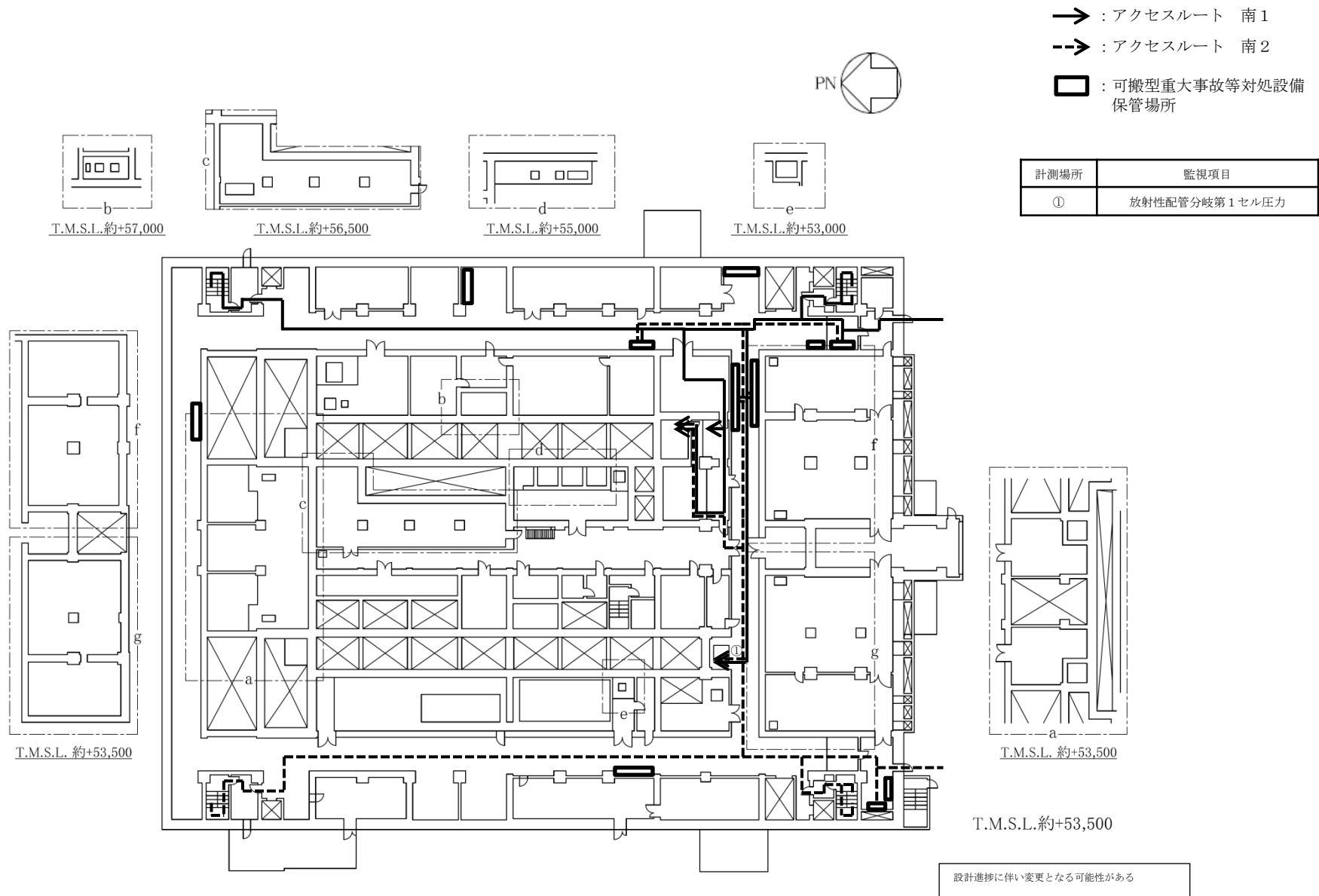


第7.2.1-46図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地下2階）

- : アクセスルート 南1
- -> : アクセスルート 南2
- : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所



第7.2.1-47図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地下1階）



第7.2.1-48図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地上1階）

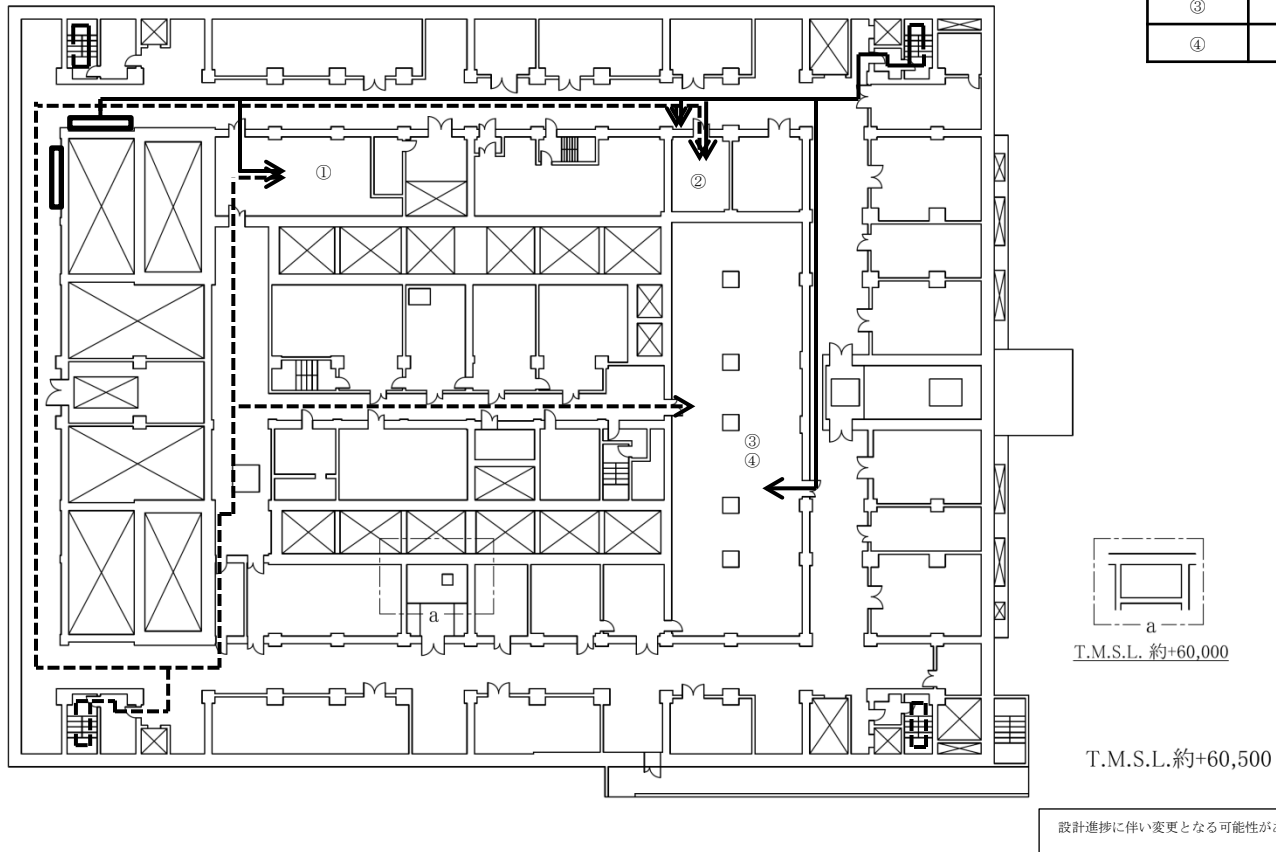
→ : アクセスルート 南1

- -> : アクセスルート 南2

□ : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所



計測場所	監視項目
①	廃ガス洗浄塔入口圧力
②	凝縮器通水流量
③	凝縮器出口排気温度
④	可搬型フィルタ差圧

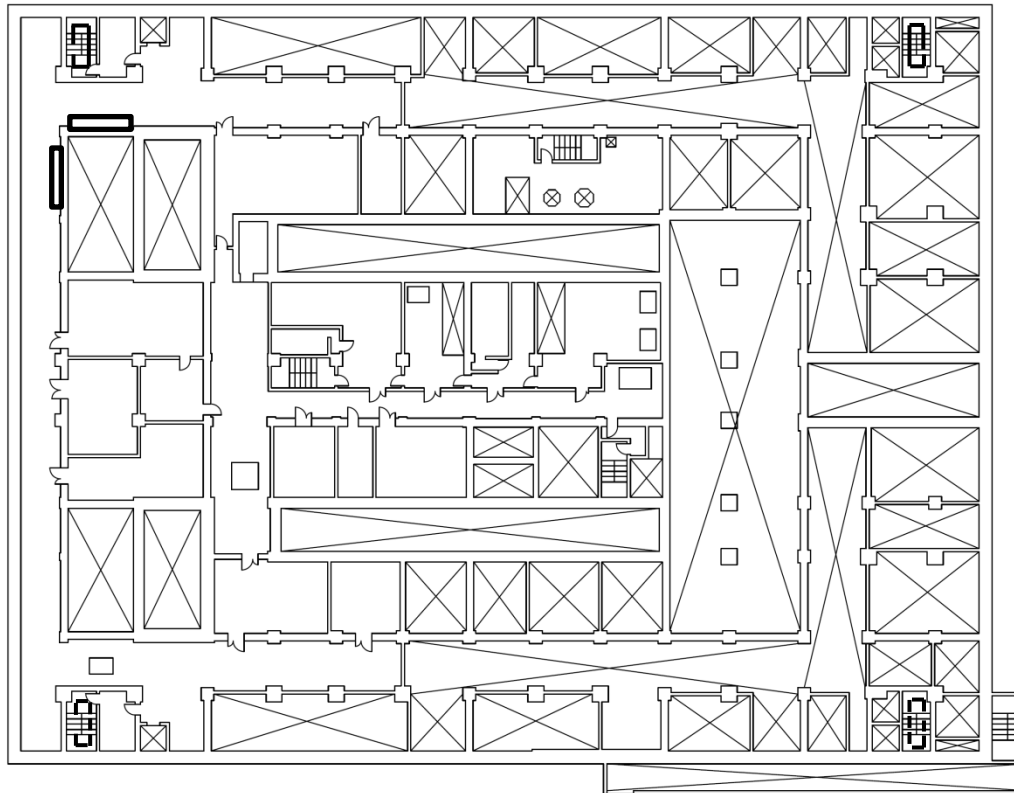


第7.2.1-49図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地上2階）

→ : アクセスルート 南1

- -> : アクセスルート 南2

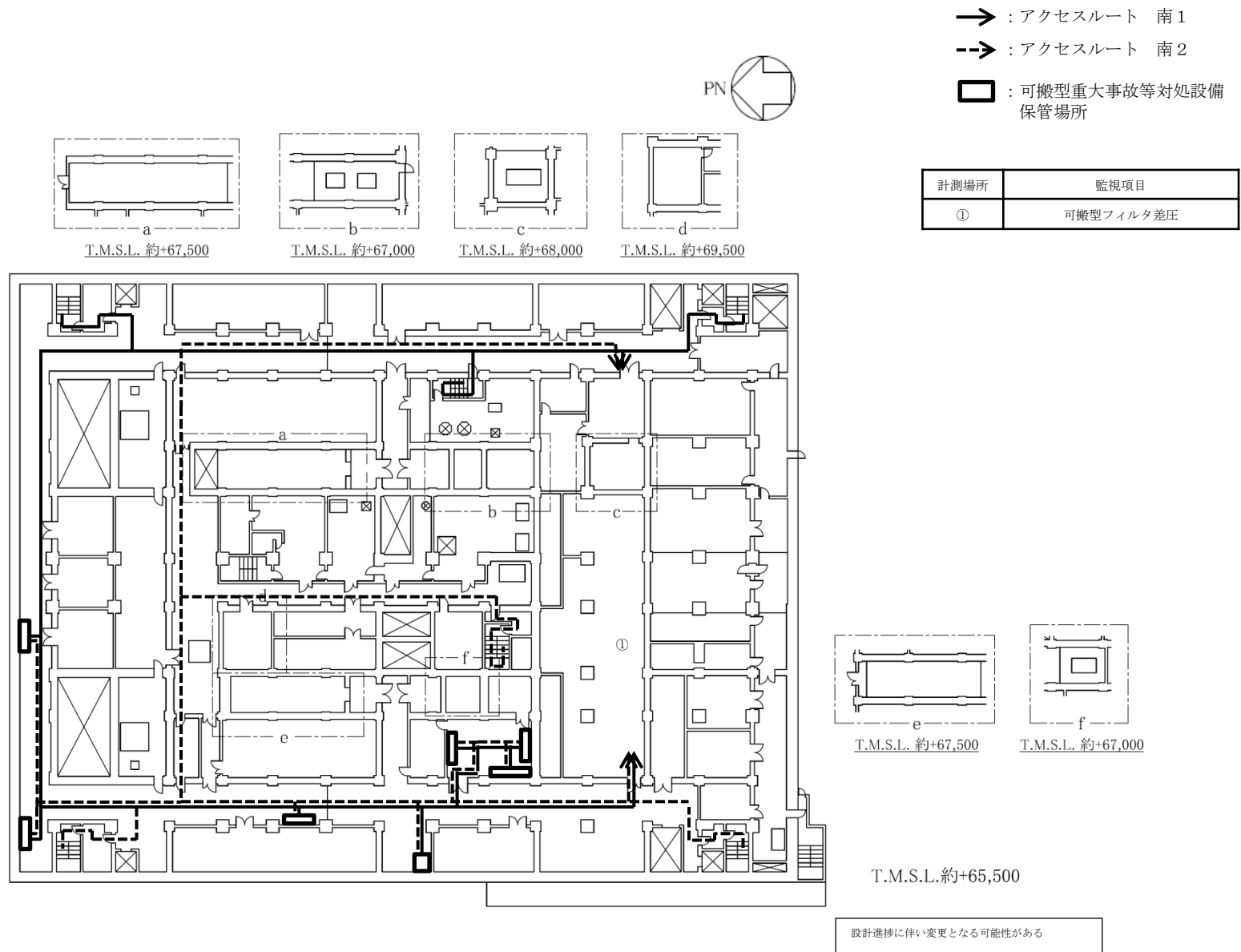
□ : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所



T.M.S.L.約+64,000

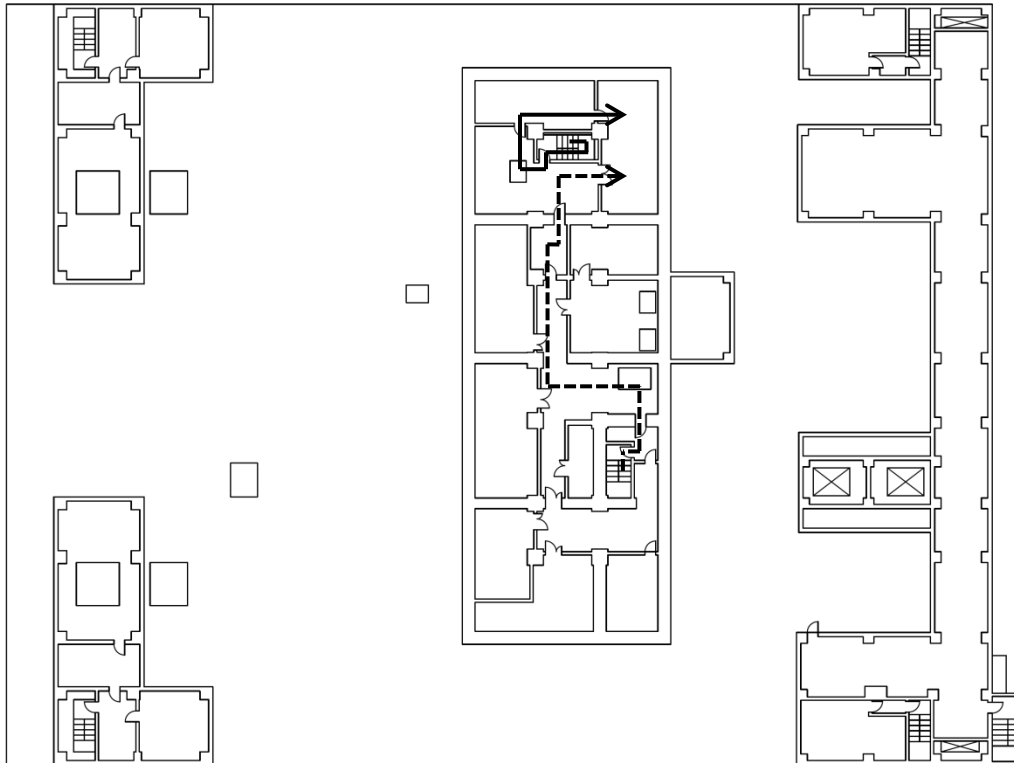
設計進捗に伴い変更となる可能性がある

第7.2.1-50図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地上3階）



第7.2.1-51図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地上4階）

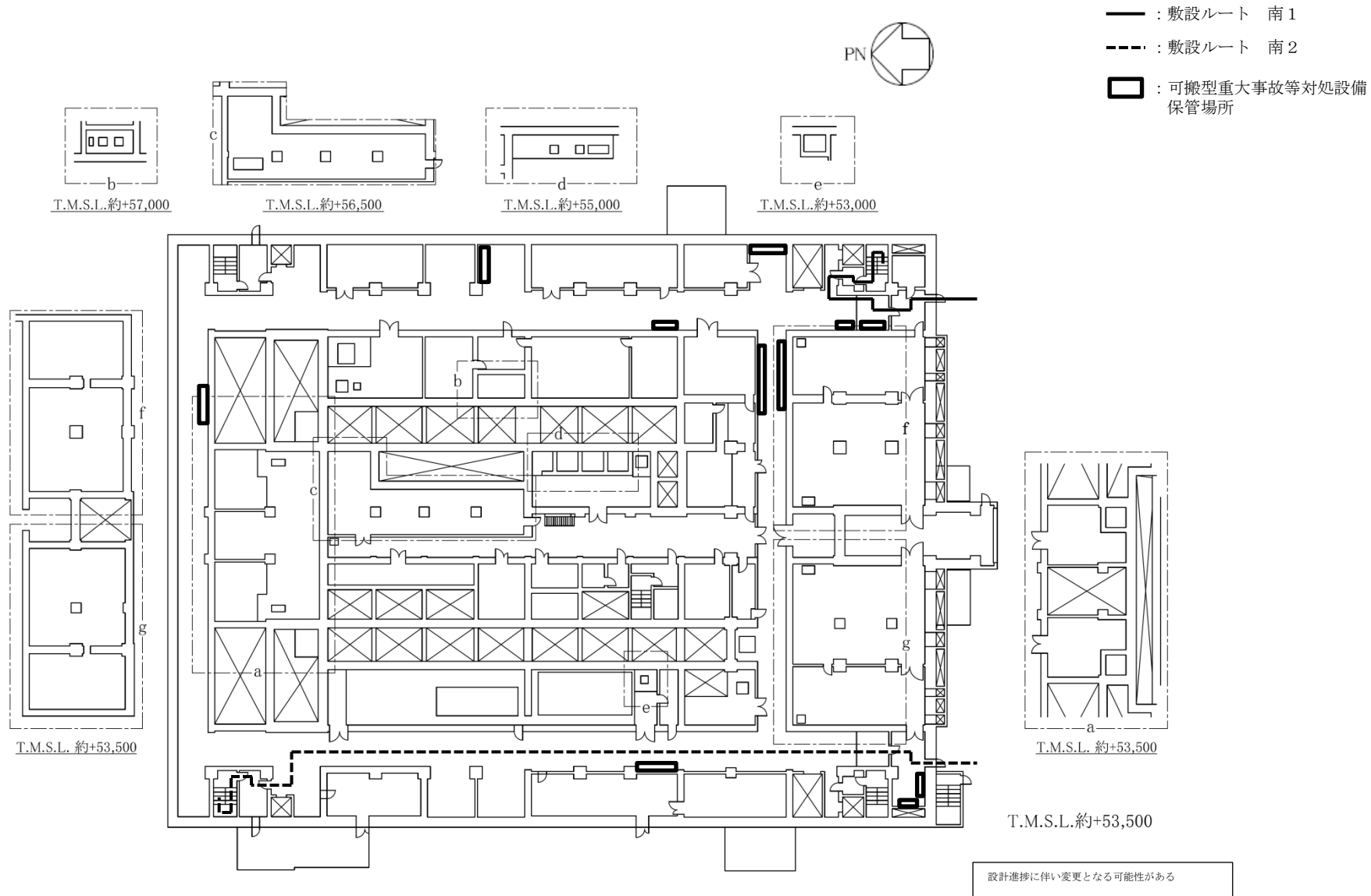
- : アクセスルート 南1
- -> : アクセスルート 南2
- : 可搬型重大事故等対処設備
保管場所



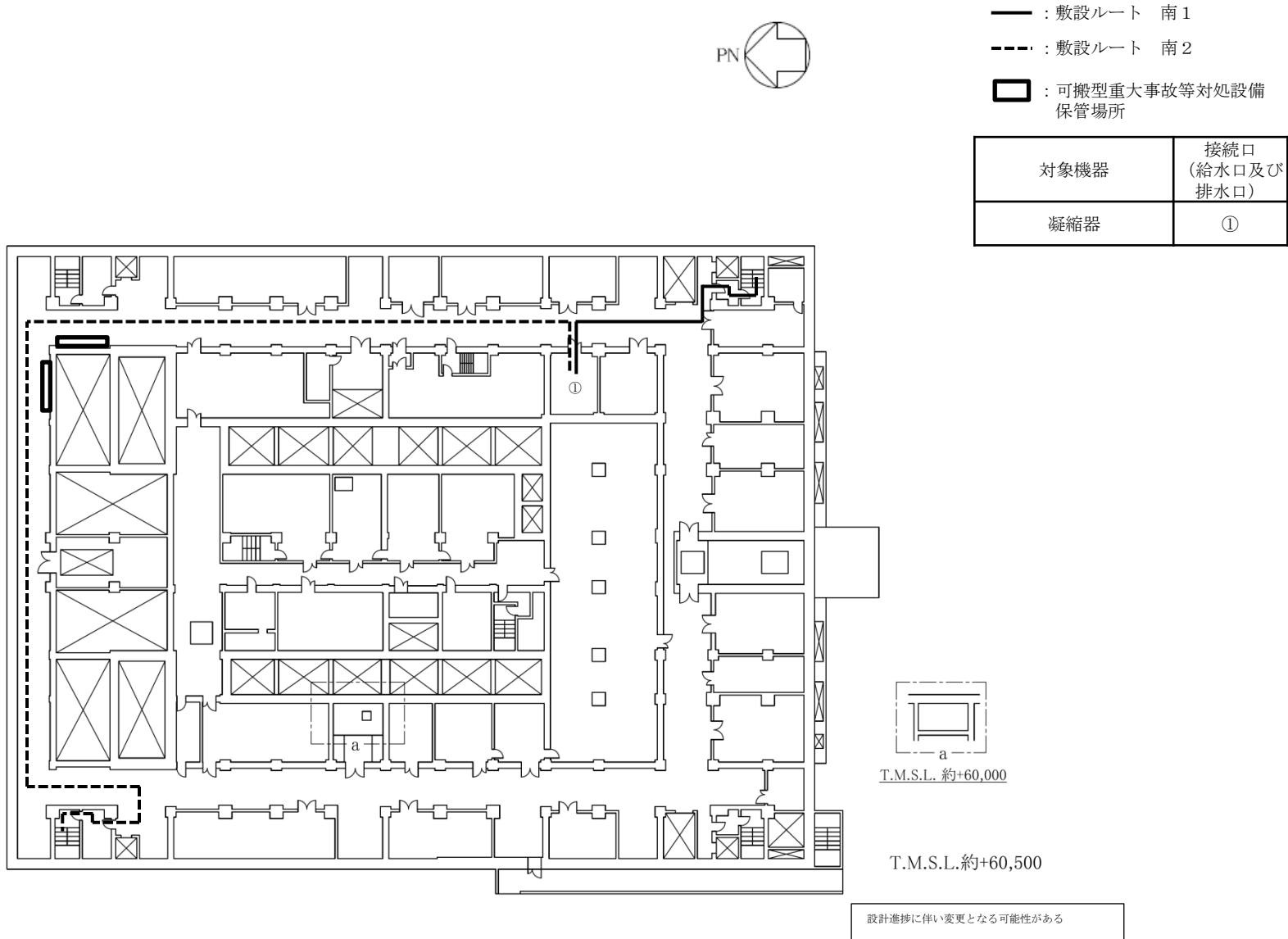
T.M.S.L.約+73,500

設計進捗に伴い変更となる可能性がある

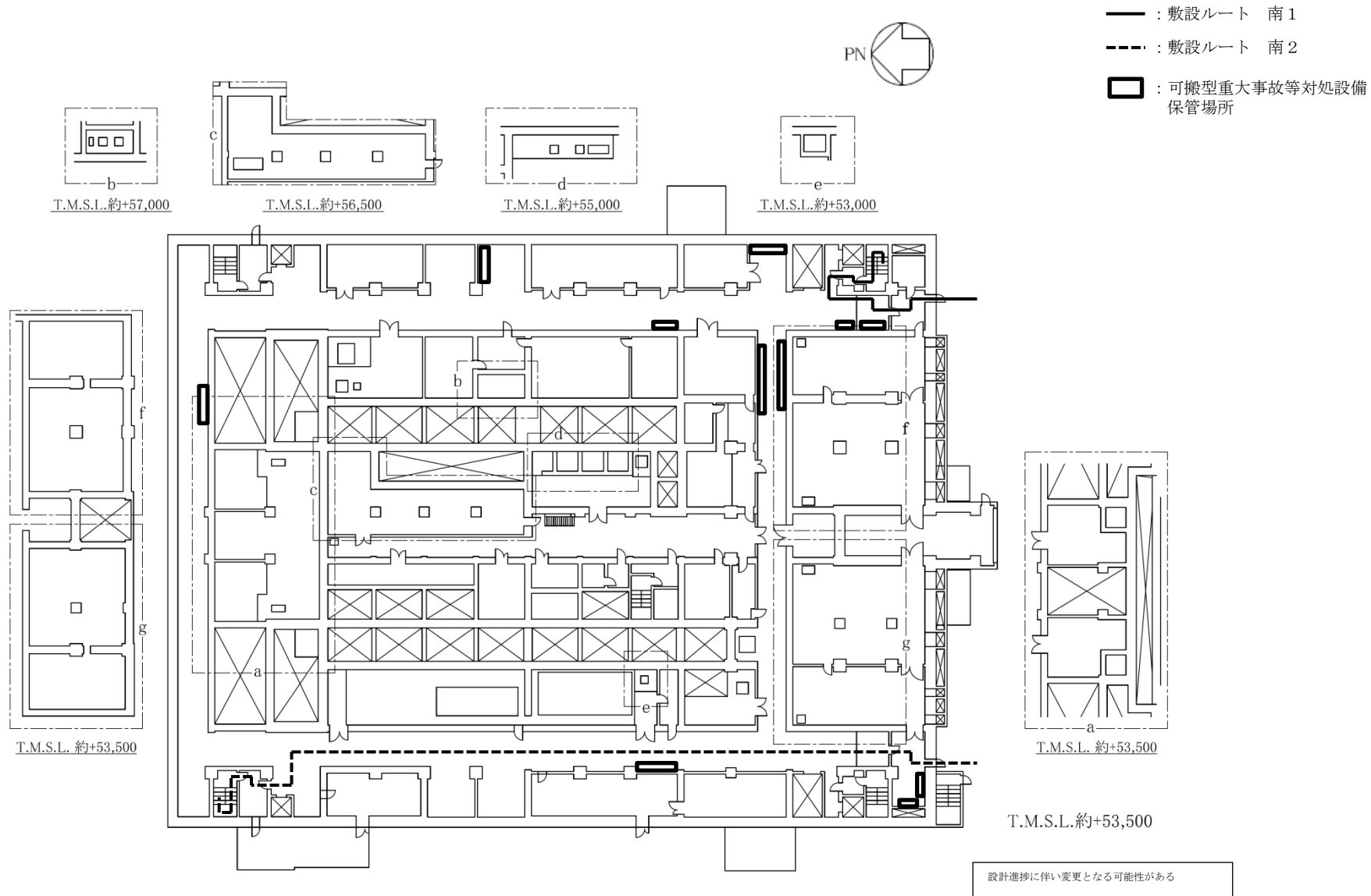
第7.2.1-52図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策のアクセスルート（地上5階）



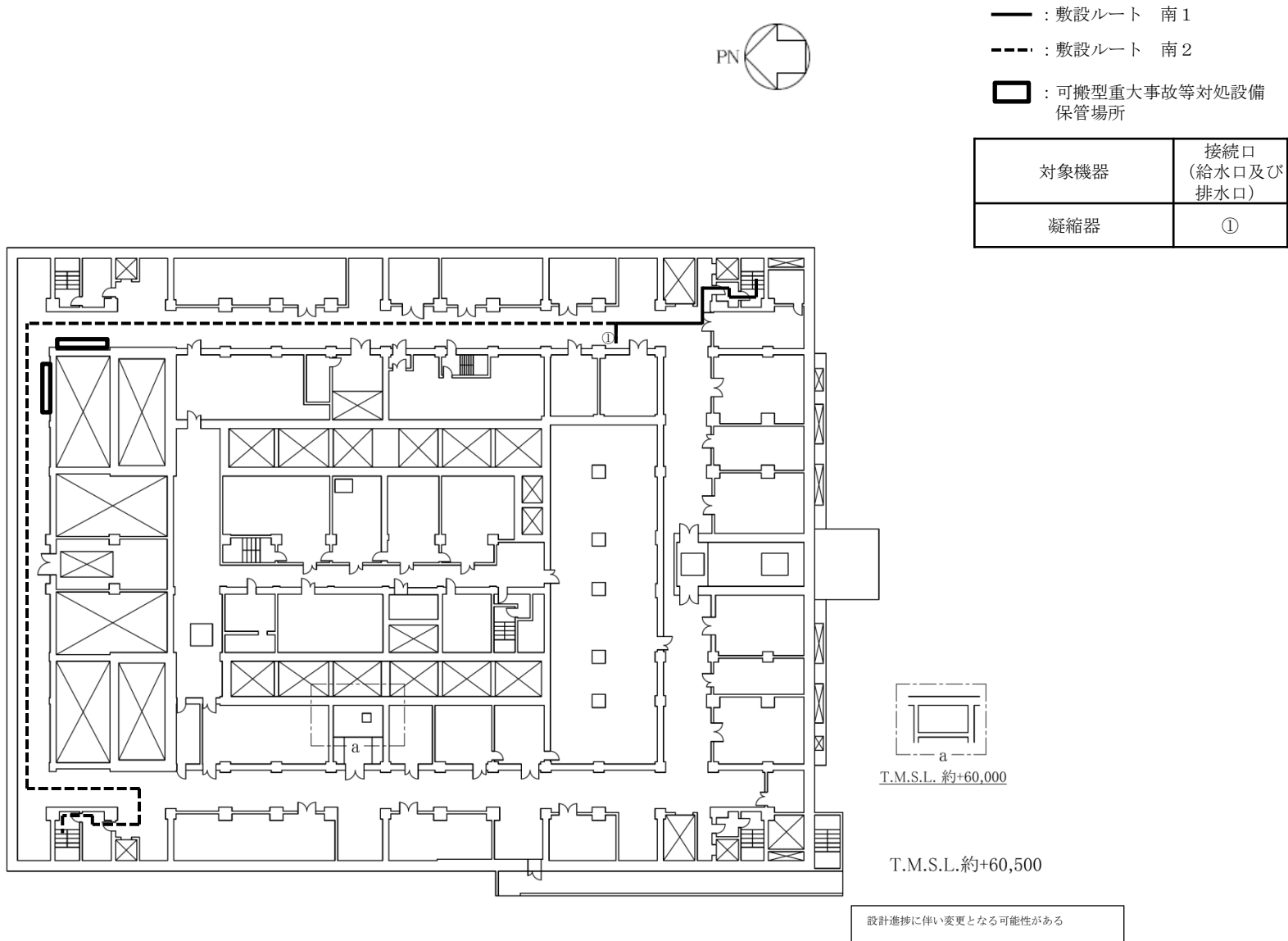
第7.2.1-53図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策の建屋内ホース敷設ルート（凝縮器への通水）（第1接続口）（地上1階）



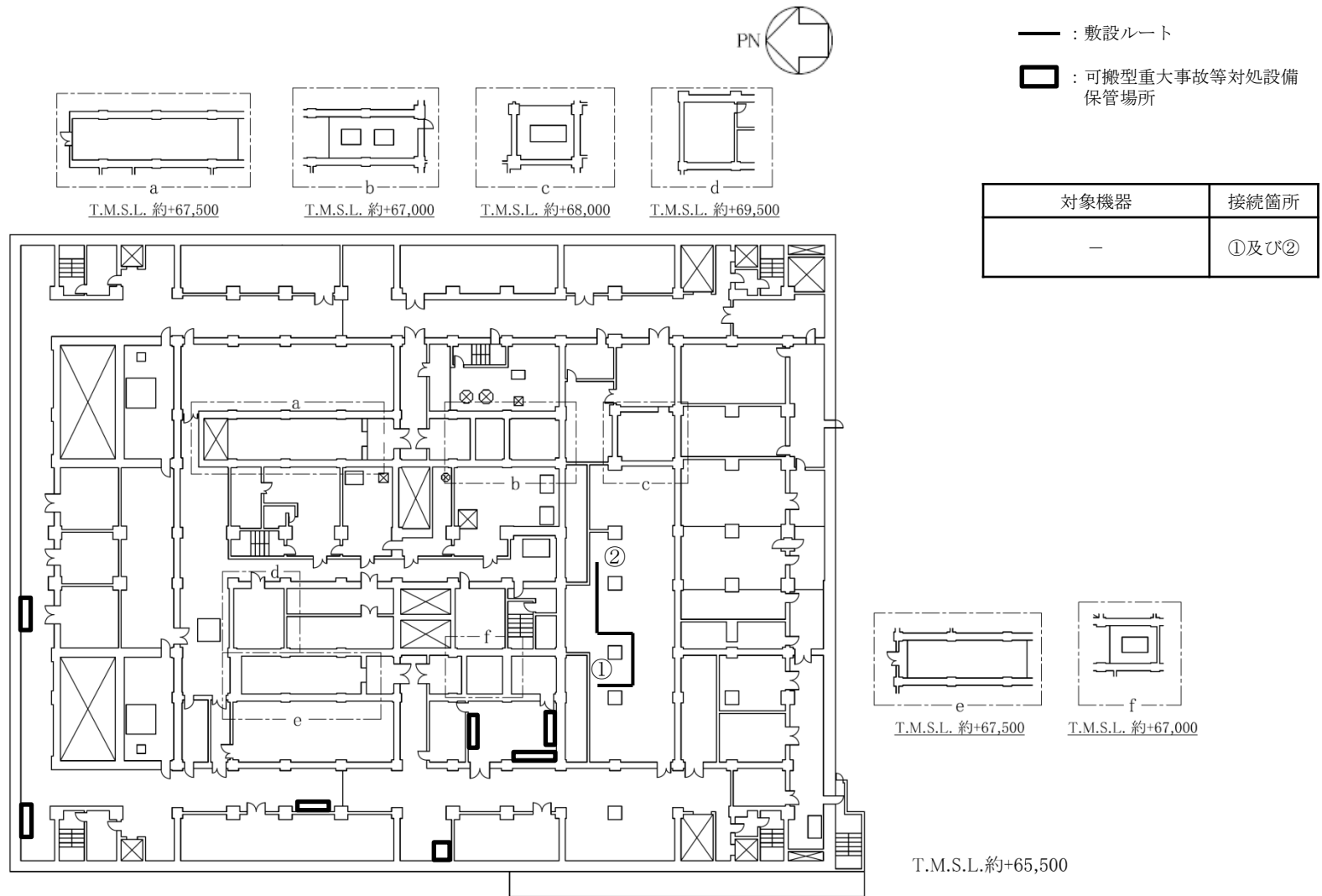
第7.2.1-54図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策の建屋内ホース敷設ルート（凝縮器への通水）（第1接続口）（地上2階）



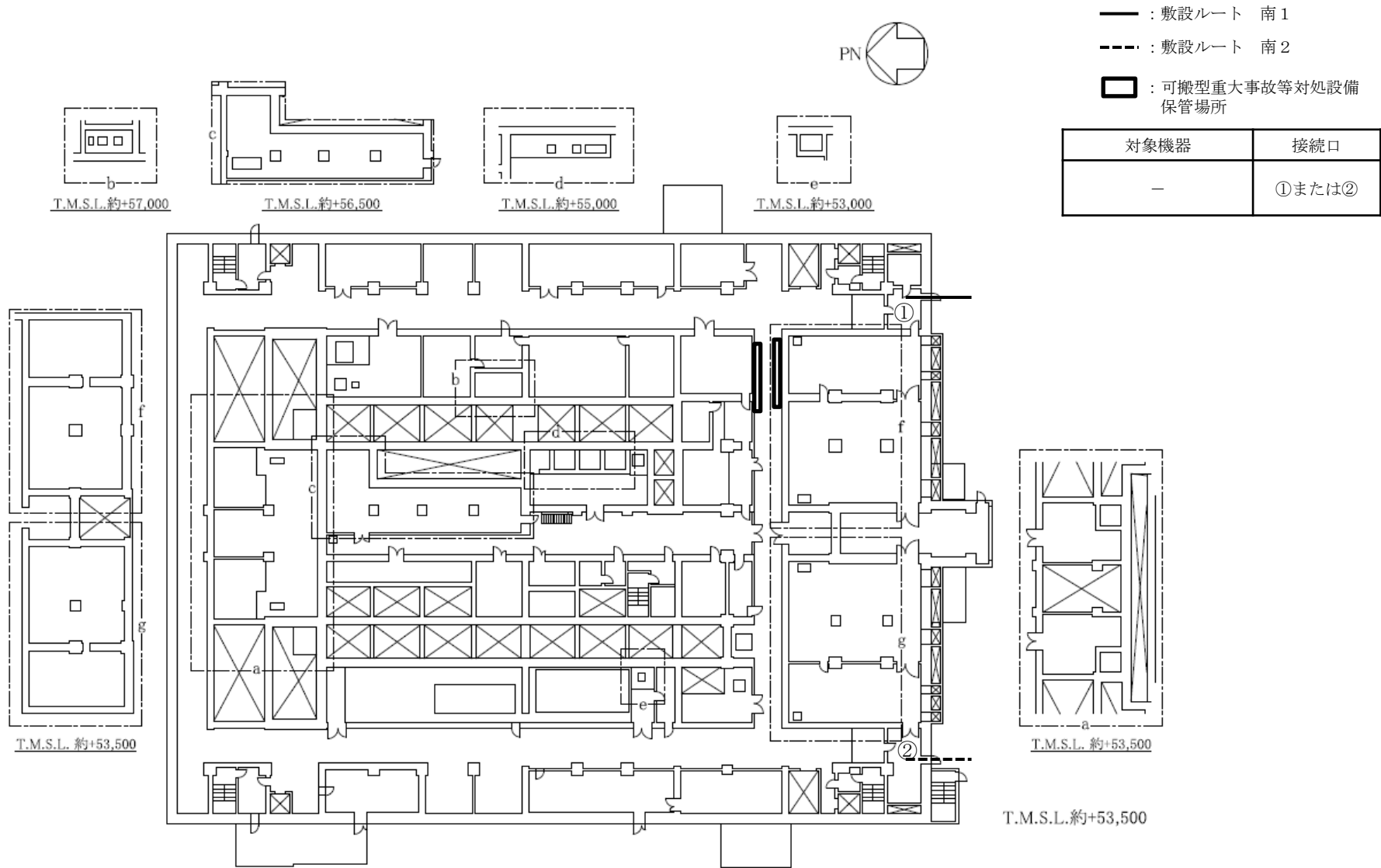
第7.2.1-55図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策の建屋内ホース敷設ルート（凝縮器への通水）（第2接続口）（地上1階）



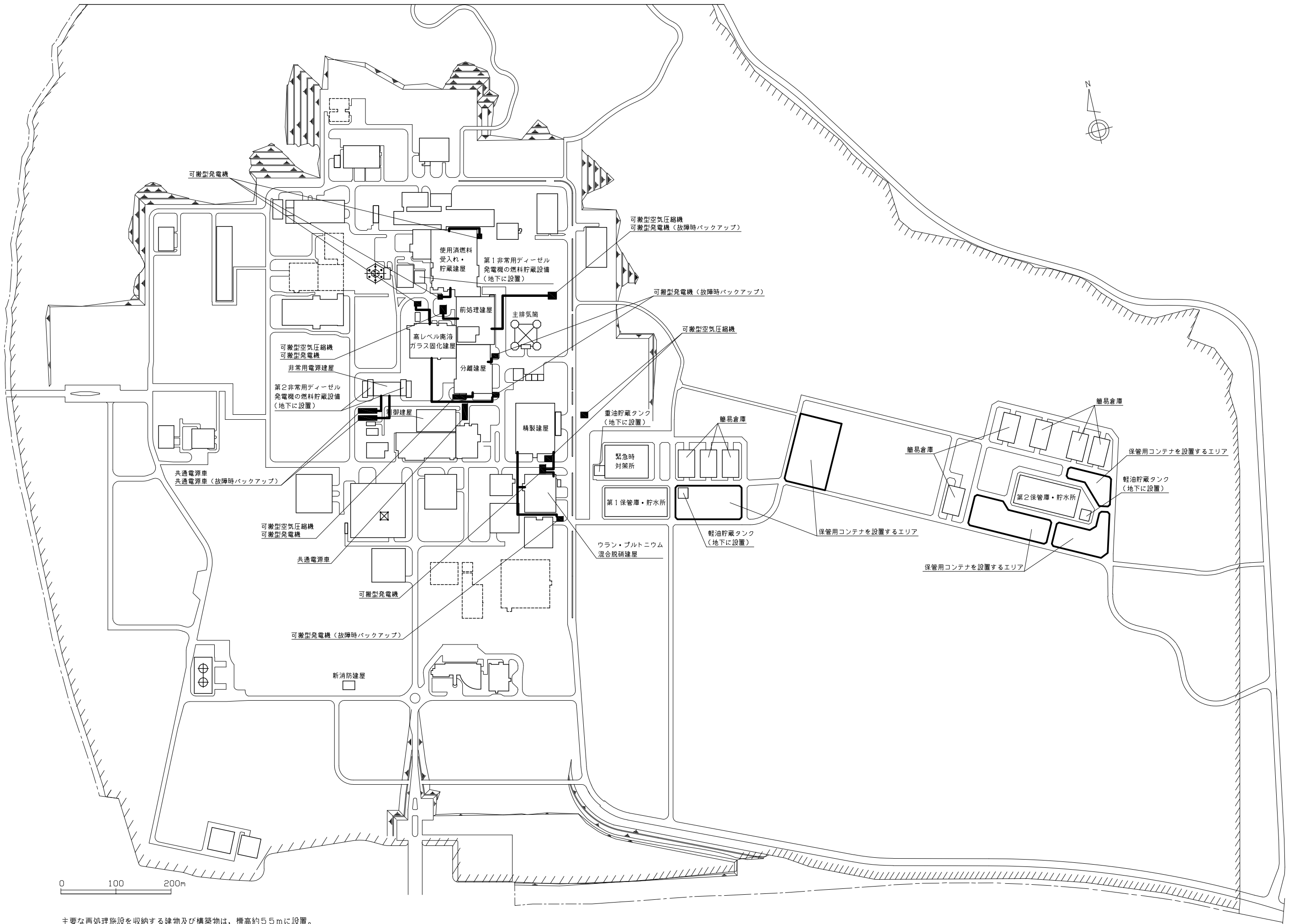
第7.2.1-56図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策の建屋内ホース敷設ルート（凝縮器への通水）（第2接続口）（南1ルート）（地上2階）



第7.2.1-57図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う精製建屋の冷却機能喪失事故」の異常な水準の放出防止対策の可搬型ダクト敷設ルート（南1ルート及び南2ルート）（地上4階）

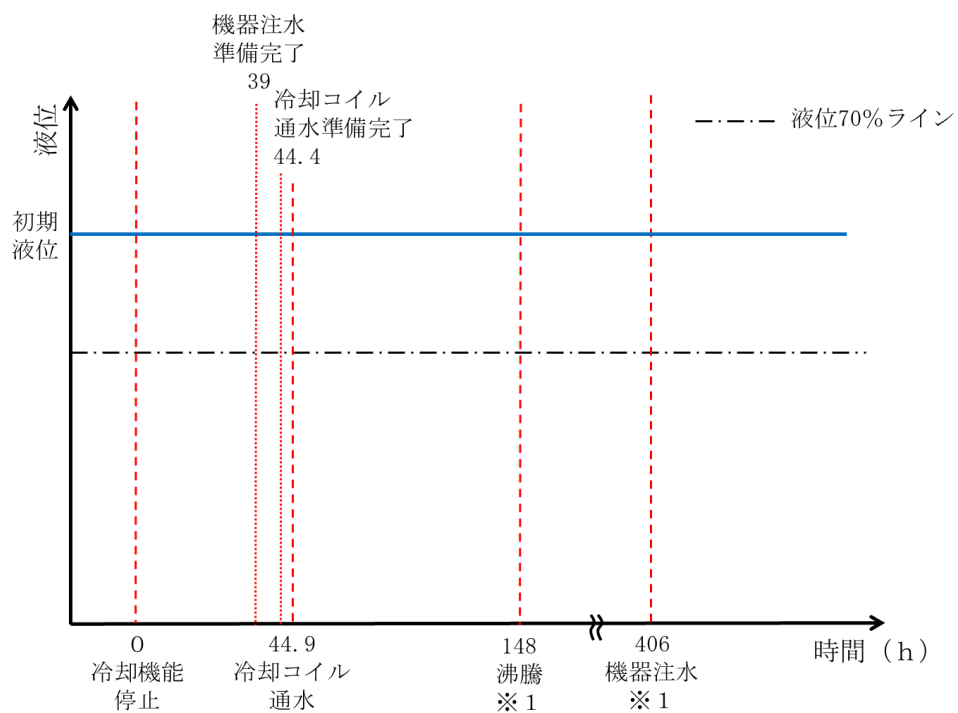
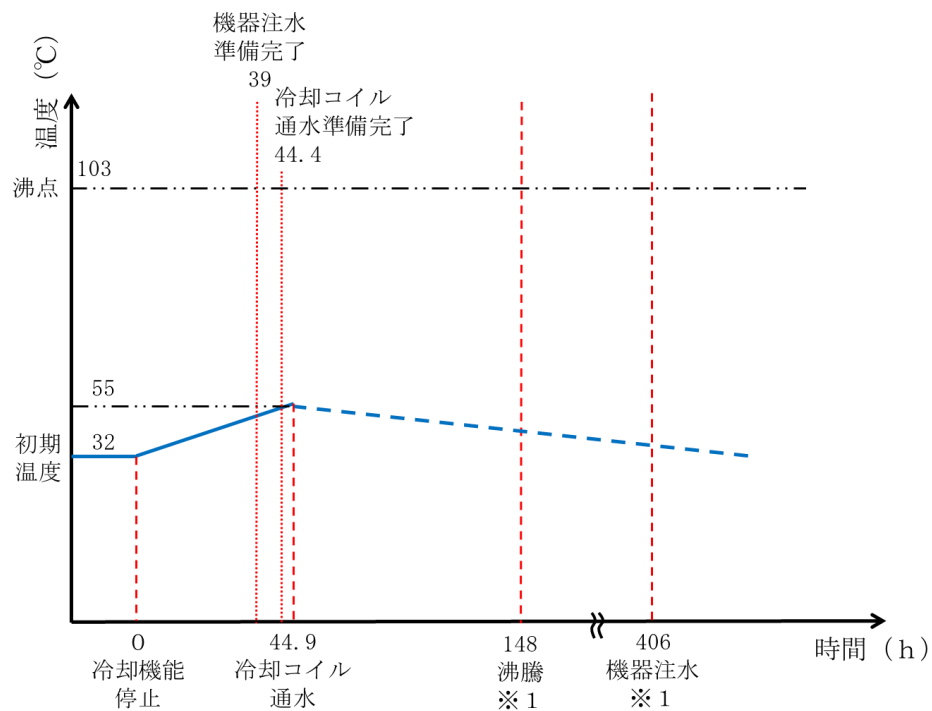


第7.2.1-58図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋可搬型発電機からの給電に係る精製建屋内可搬型電源ケーブル敷設ルート（第1接続口及び第2接続口）（地上1階）



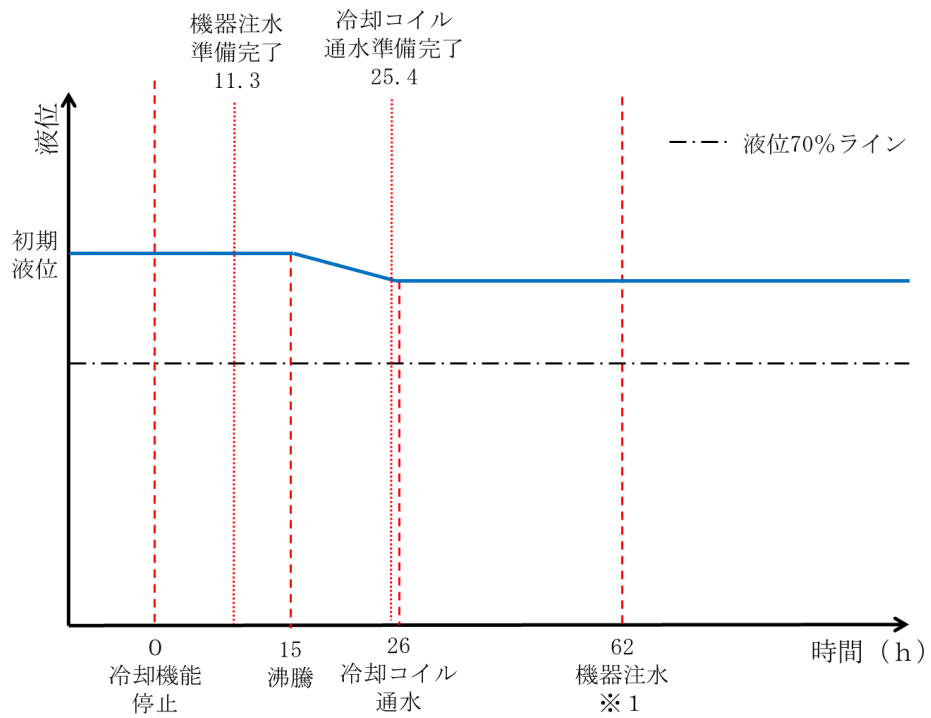
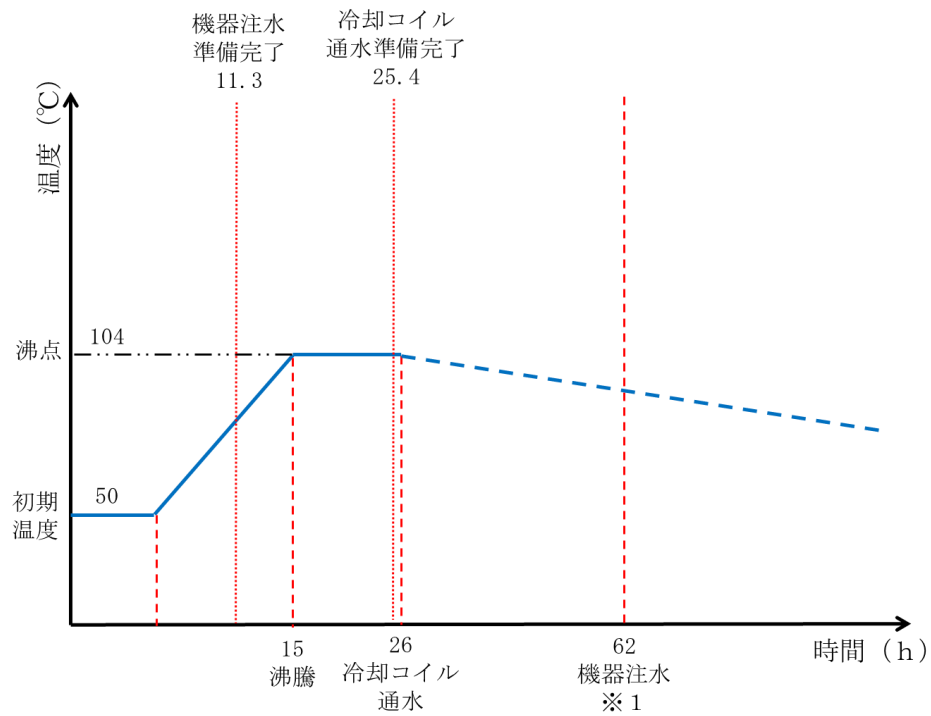
主要な再処理施設を収納する建物及び構築物は、標高約5.5mに設置。

第7.2.1-59図 可搬型電源ケーブル敷設ルート 屋外（第1接続口及び第2接続口）



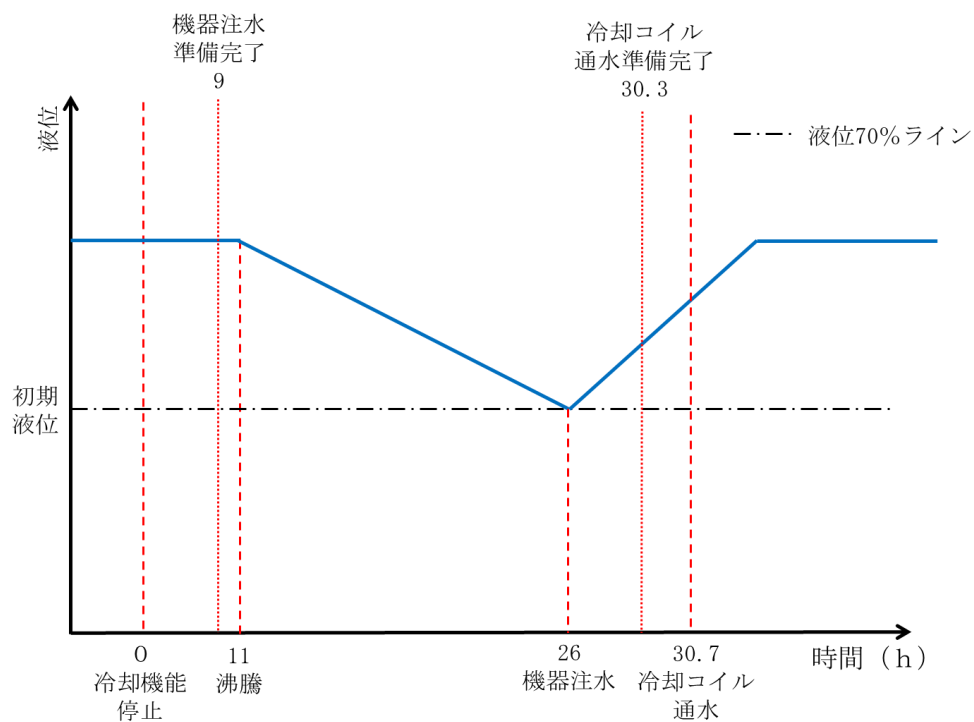
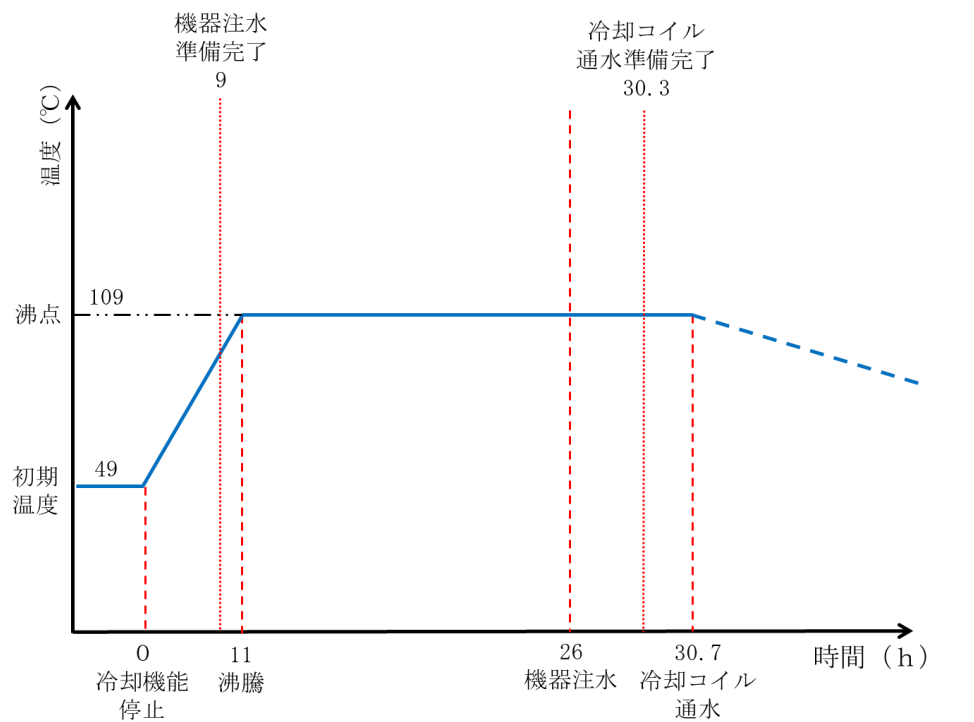
※1 冷却コイル通水により事態の収束を図るため、沸騰及び機器注水には至らない

第 7. 2. 2- 1 図 冷却コイル等通水及び機器注水実施時の計量前中間貯槽に内包する溶液の温度及び液位傾向



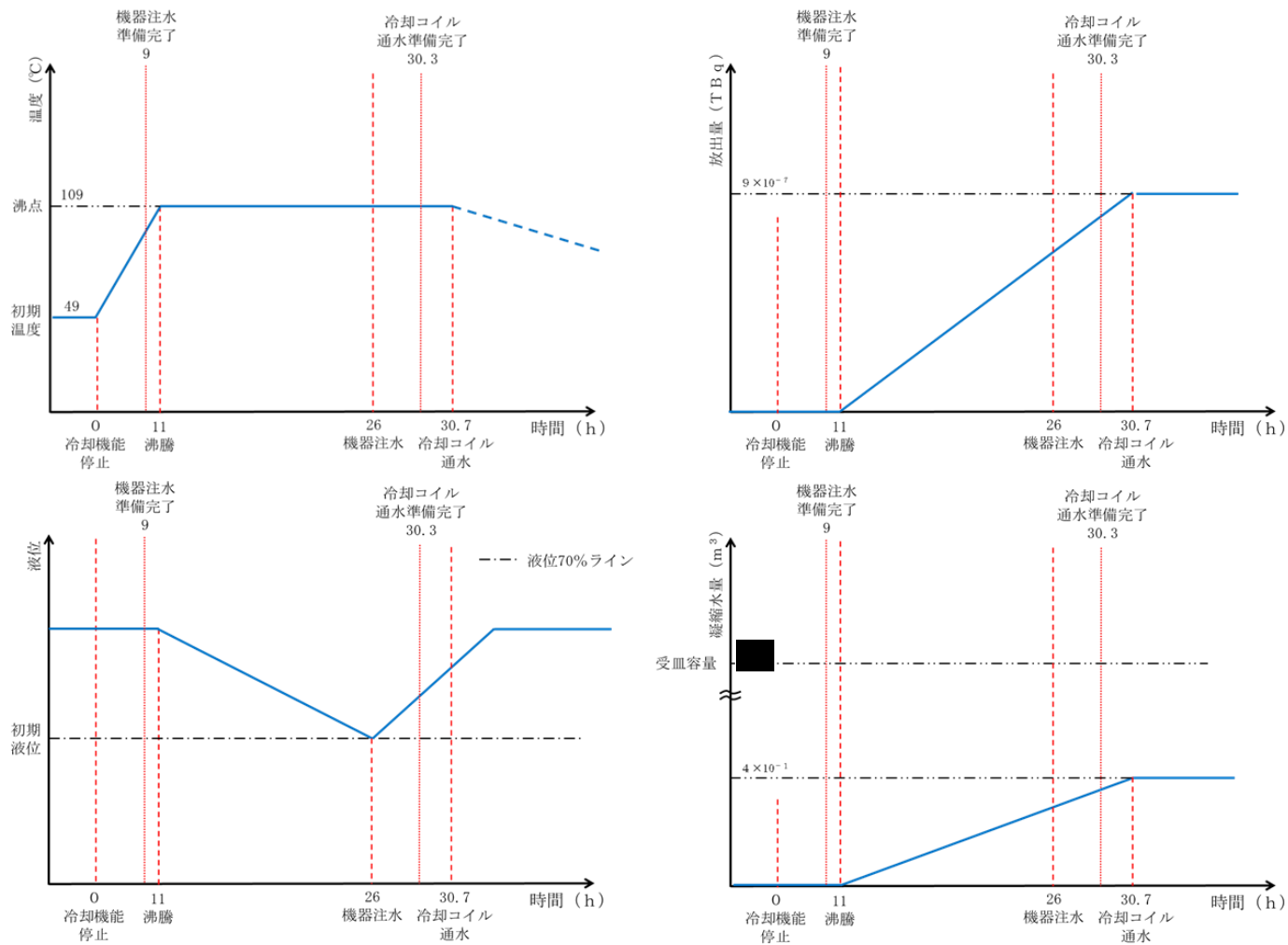
※1 冷却コイル通水により事態の収束を図るため、機器注水には至らない

第 7.2.2-2 図 冷却コイル等通水及び機器注水実施時の高レベル廃液濃縮缶に内包する溶液の温度及び液位傾向



※1 機器注水は蒸発速度に対して3倍の流量で実施した場合を想定する

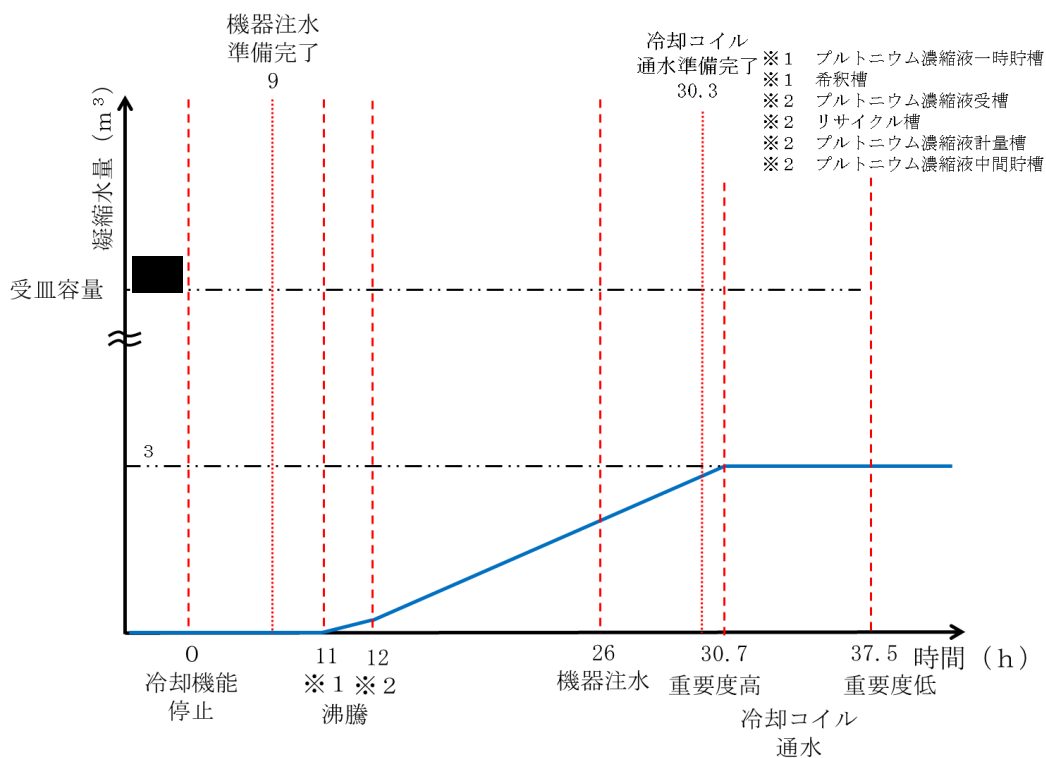
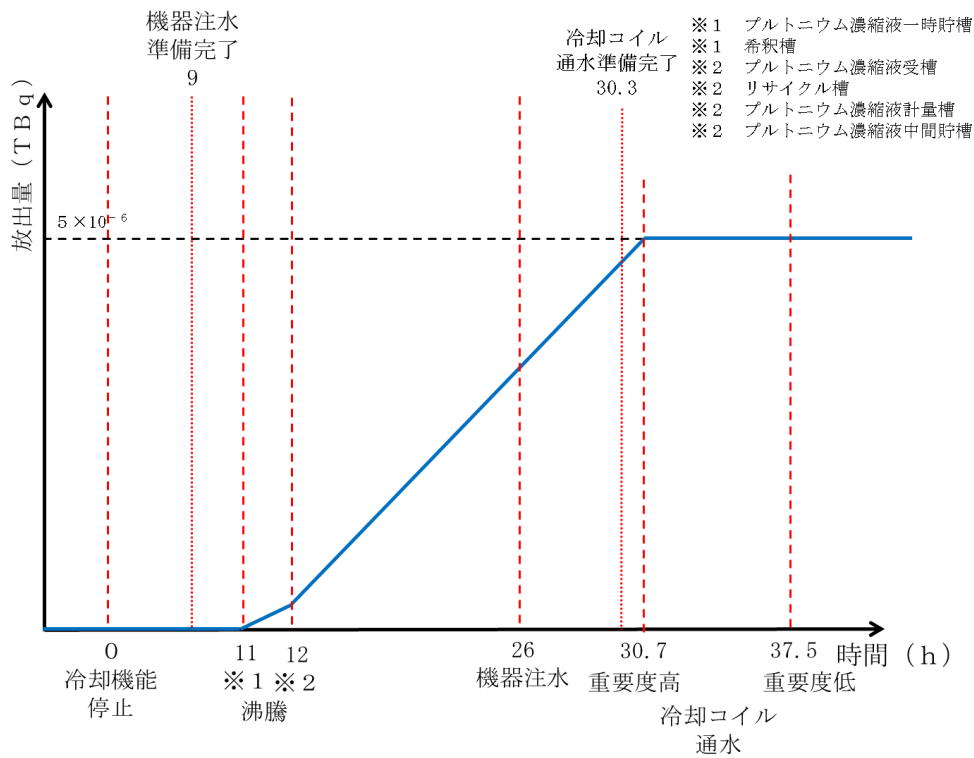
第7.2.2-3図 冷却コイル等通水及び機器注水実施時のプルトニウム濃縮液一時貯槽に内包する溶液の温度及び液位傾向



※1 機器注水は蒸発速度に対して3倍の流量で実施した場合を想定する

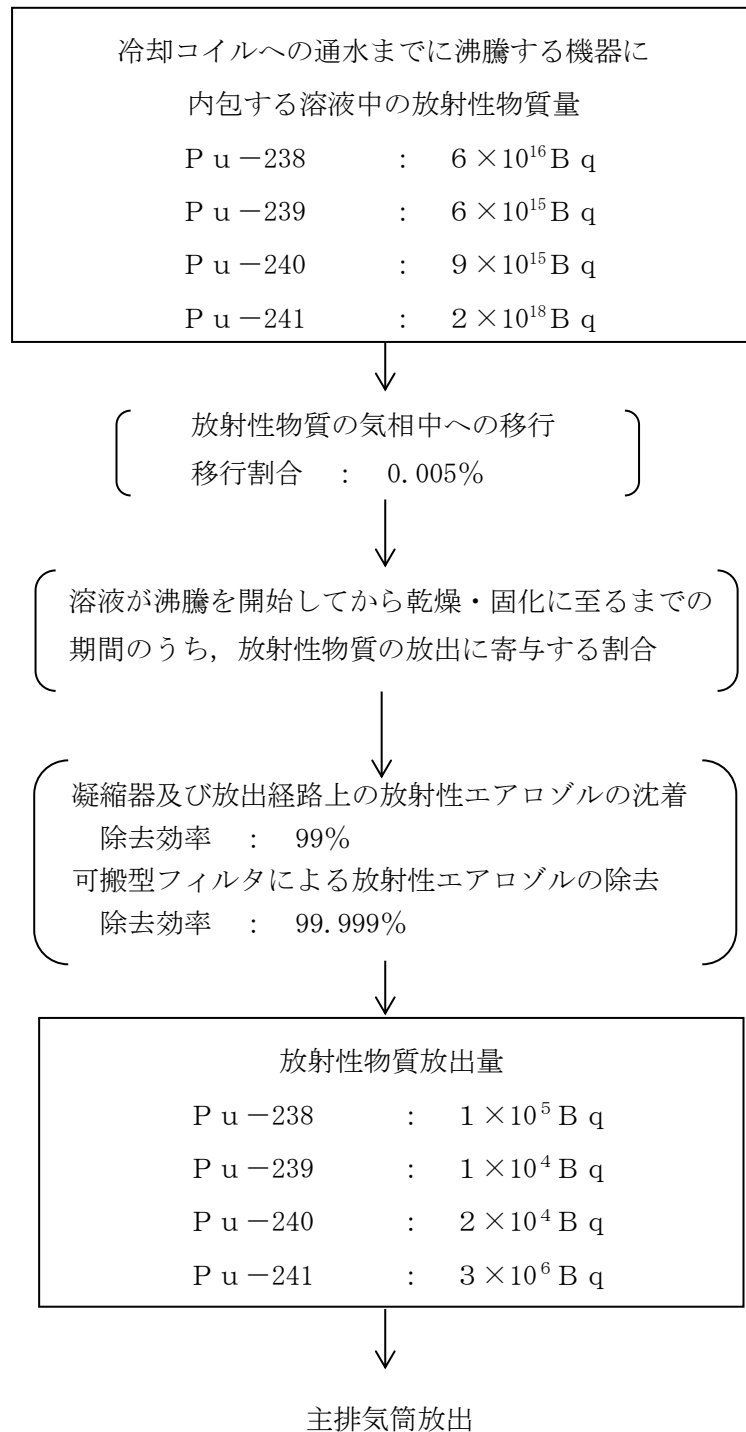
第7.2.2-4図 放出低減対策実施時のプルトニウム濃縮液一時貯槽に
内包する溶液の温度，液位，放出及び蒸気の凝縮傾向

■：については商業機密の観点から公開できません。



第 7.2.2-5 図 放出低減対策実施時の精製建屋からの放出及び蒸気の凝縮傾向

■: については商業機密の観点から公開できません。



第 7.2.2-6 図 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う
精製建屋の冷却機能喪失事故」時の放射性物質
の大気放出過程

2 章 補足説明資料

第28条:重大事故等の拡大防止(7. 冷却機能の喪失による蒸発乾固)

資料No.	再処理施設 安全審査 整理資料 補足説明資料 名称	備考
補足説明資料7-1	冷却機能の喪失による蒸発乾固の特徴	
補足説明資料7-2	冷却機能の喪失による蒸発乾固への対処	
補足説明資料7-3	沸騰までの時間余裕評価	
補足説明資料7-4	内部ループ通水及び冷却コイル等への通水による除熱評価	
補足説明資料7-5	貯槽からの放熱による影響の考察	
補足説明資料7-6	要員及び資源等の評価	
補足説明資料7-7	事態の収束までの放出量及び被ばく線量評価	
補足説明資料7-8	事態の収束までの凝縮水発生量評価	
補足説明資料7-9	機器注水による溶液の温度への影響の考察	
補足説明資料7-10	拡大防止対策が機能しない場合の放出量評価	
補足説明資料7-11	有効性評価まとめ	

補足説明資料 7 - 1

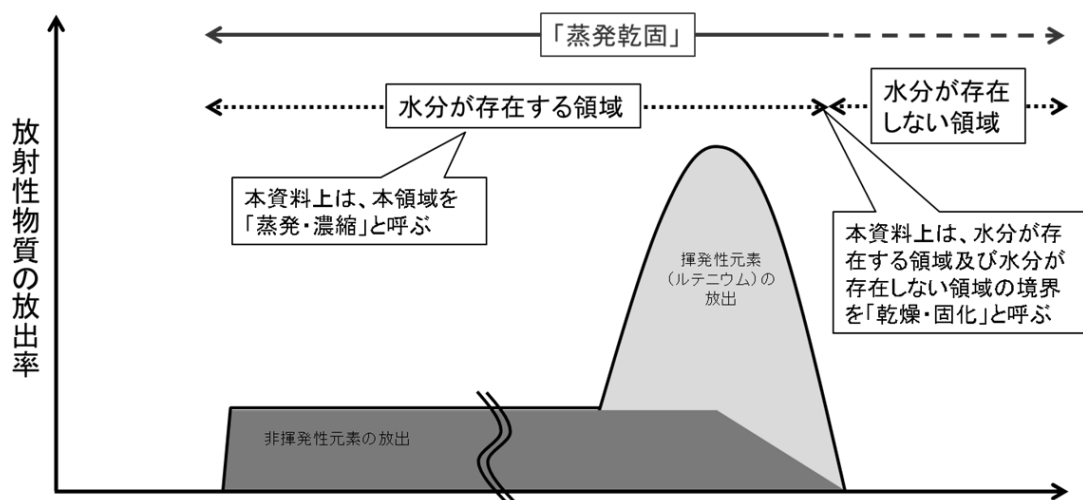
1. 蒸発乾固の特徴

「蒸発乾固」とは、冷却機能の喪失により溶液の温度上昇、蒸発・濃縮、乾燥・固化及び乾燥・固化した後のさらなる温度上昇により、物理化学的な形態を変えながら進行する事象である。

重大事故等への対処は、最も効果を発揮するタイミングで実施することが重要であり、「蒸発乾固」の進行の全体を見渡した時には、「水分が存在する領域」の間に対策を講ずることが最も効果的である。これは、溶液を冷却するためにも、蒸発乾固の進行を緩和するためにも一定量以上の水分が必要であり、水分を維持することが重要だからである。

このため「水分が存在する領域」に対して事業指定基準規則第35条に適合する信頼性の高い対策を整備し、これを確実に実施することで放射性物質の発生を抑制し、「水分が存在しない領域」へ進行することを緩和する。

上記対応にも係らず、「水分が存在しない領域」に「蒸発乾固」の状態が進行した場合には、事業指定基準規則第40条に基づく放射性物質の放出を抑制するための対策を講ずる。



第 1. - 1 図 蒸発乾固の事象進展

2. 蒸発乾固の進展により発生する可能性のある事象の検討

蒸発乾固の発生が想定される機器に内包する溶液は、高レベル濃縮廃液、プルトニウム濃縮缶において濃縮されたプルトニウム濃縮液、濃縮される前のプルトニウム溶液、溶解液、抽出廃液及び高レベル混合廃液の6種類に分類される。

蒸発乾固の進展に伴う温度上昇、蒸発・濃縮、乾燥・固化及び乾燥・固化した後のさらなる温度上昇の各段階で発生する可能性がある事象について、溶液の性状に応じて検討する。

- (1) 沸騰が継続することで、高レベル濃縮廃液、溶解液及び抽出廃液の硝酸濃度が約6規定以上及び溶液の温度が約120℃以上に至った場合、高レベル濃縮廃液等のルテニウムが揮発性の化学形態となり、ルテニウムが大量に気相中に移行する。また、高レベル濃縮廃液等の沸騰及び濃縮が継続し、蒸発乾固が進行した場合には、溶解液、抽出廃液及び高レベル廃液を内包する機器において、ルテニウム、セシウムその他の放射性物質の揮発が発生する可能性がある。
- (2) プルトニウムを含む溶液（溶解液を含む）を内包する機器においては、核燃料物質の濃度が相対的に上昇すること又は機器の中性子吸収材が損傷することに伴い臨界が発生する可能性がある。
- (3) 有機物を含む溶液を内包する機器において硝酸又は硝酸塩及び有機物が共存することに伴う爆発が発生する可能性がある。
- (4) 乾燥・固化後のさらなる温度上昇により貯槽損傷が発生する可能性がある。

2.1 各溶液の事象進展及び事象発生の可能性について

崩壊熱が大きく事象進展が比較的早い溶液は、高レベル濃縮廃液、プルトニウム濃縮液及び高レベル混合廃液であり、発生が想定される事象

を第 2. - 1 表に示す。その他の溶液は崩壊熱が小さく、事象進展が非常に緩慢であるため、乾固が進展する可能性は小さい。各溶液の検討結果を第 2. - 1 図～第 2. - 6 図に示す。また、プルトニウム濃縮液を内包する貯槽において蒸発乾固が進行し乾燥・固化に至った場合には、貯槽損傷の発生の可能性はあるが、貯槽損傷に至るまでのいかなる条件においても臨界が発生することがないことを確認している。

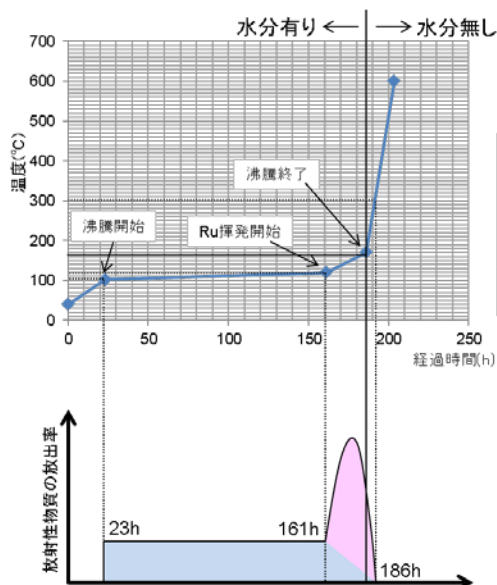
第 2. - 1 表 発生が想定される事象の検討

	放射性物質の揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
高レベル濃縮廃液	○ ※1	—	—	○ ※2
プルトニウム濃縮液	—	—	—	○ ※2
高レベル混合廃液	○ ※1	—	○ ※1	○ ※2

※1：乾燥・固化付近及び乾燥・固化後に発生が想定されるもの。

※2：乾燥・固化後に発生が想定されるもの。

高レベル廃液ガラス固化建屋 高レベル濃縮廃液一時貯槽の例



状態	発生の可能性のある事象			
	揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
水分有り	○※1	—	—※3	—
水分無し	○※2	—	—※3	○※4

※1 高濃度の硝酸が有する酸化力に因る揮発性Ru化学種の生成。

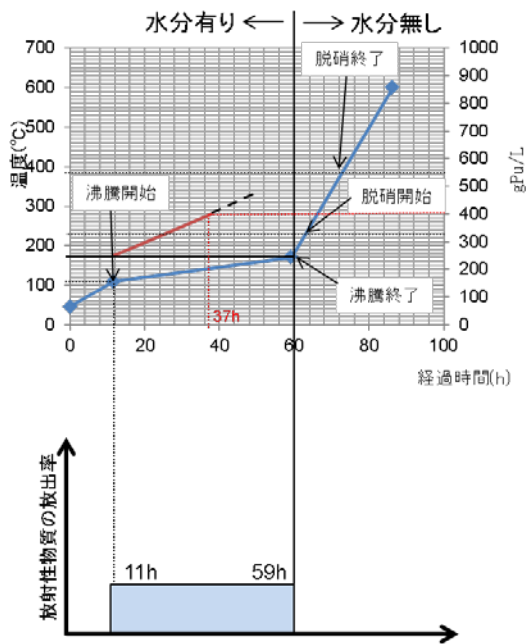
※2 Ru硝酸塩の熱分解に因る揮発性Ru化学種の生成。また、乾固物の温度上昇に伴い、Csの揮発が発生する。

※3 有機物等を有しないため爆発の可能性なし。

※4 乾固物の温度上昇に伴う貯槽損傷の可能性あり。

第 2. - 1 図 高レベル濃縮廃液の事象進展

精製建屋 希釈槽の例



状態	発生の可能性のある事象			
	揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
水分有り	—※1	—	—※2	—
水分無し	—※1	—	—※2	○※3

- ※1 極微量のRuの揮発の発生が想定される。
- ※2 有機物等を有しないため爆発の可能性なし。
- ※3 乾固物の温度上昇に伴う貯槽損傷の可能性あり。

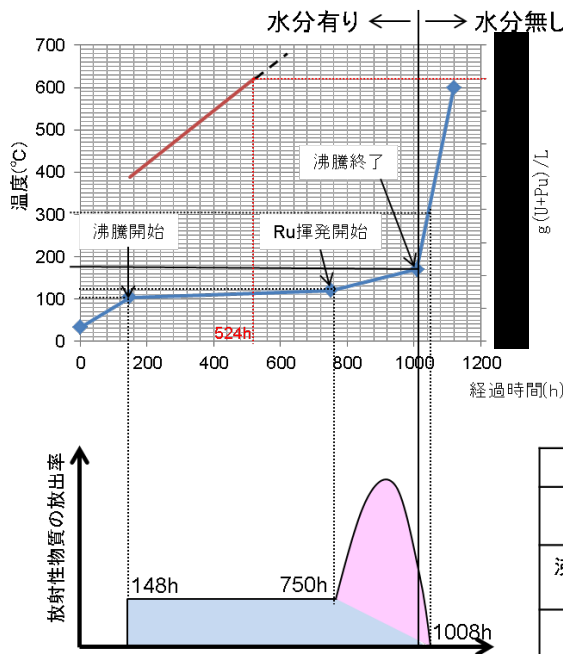
臨界の発生に係るパラメータ

	遊離硝酸	硝酸Puの脱硝	中性子吸収材	臨界
沸騰初期 ~400gPu/L*	有	無	有	未
沸騰中期~ 沸騰終了 400gPu/L*~	無	無	有	未
乾燥・固化 以降	無	有	無	発生の 可能性

* 溶液中からの硝酸の離脱を考慮する必要がある濃度
出典: 再処理プロセス・化学ハンドブック第3版

第2-2図 プルトニウム濃縮液の事象進展

前処理建屋 計量前中間貯槽の例



状態	発生の可能性のある事象			
	揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
水分有り	—※1	—※1	—※2	—
水分無し	—※1	—※1	—※2	—※3

- ※1 事象進展が非常に緩慢であり発生は想定されない。
- ※2 有機物等を有しないため爆発の可能性なし。
- ※3 崩壊熱が小さく貯槽損傷の可能性は十分低い。

臨界の発生に係るパラメータ

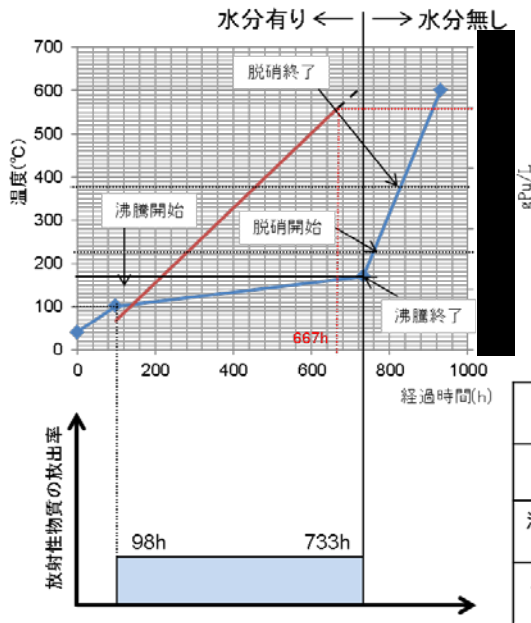
	U,Pu濃度の上昇	硝酸Puの脱硝	臨界
沸騰初期 (~ \blacksquare g・U+Pu/L*)	有	無	未
沸騰中期~沸騰 終了 (\blacksquare g・U+Pu/L~)	有	無	未
乾燥・固化 以降	有	有	未

* 臨界安全設計条件を超える濃度。本濃度を越えた場合に直ちに臨界に至るものではないが、本濃度を未臨界性判断のホールドポイントとした。

\blacksquare について商業機密上の観点から公開できません。

第2-3図 溶解液の事象進展

精製建屋 プルトニウム溶液一時貯槽の例



状態	発生の可能性がある事象			
	揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
水分有り	-※1	-	-※2	-
水分無し	-※1	-	-※2	-※3

※1 事象進展が非常に緩慢であり発生は想定されない。
 ※2 有機物等を有しないため爆発の可能性なし。
 ※3 崩壊熱が小さく貯槽損傷の可能性は十分低い。

臨界の発生に係るパラメータ

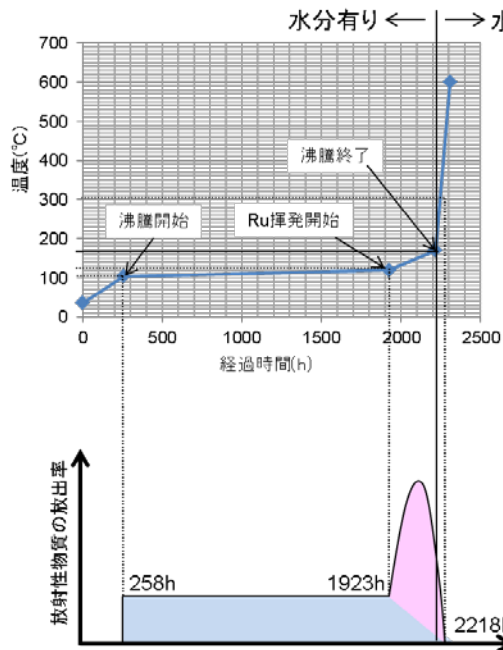
	Pu濃度の上昇	硝酸Puの脱硝	中性子吸収材	臨界
沸騰初期	有 (~ \blacksquare g・Pu/L*)	無	有	未
沸騰中期～沸騰終了	有 (\blacksquare g・Pu/L*~)	無	有	未
乾燥・固化以降	有	有	無	未

* 臨界安全設計において計算を行った最も高い濃度。Pu溶液(24gPu/L)を内包する貯槽は全濃度安全形状寸法管理機器であり、取り扱う溶液の濃度に制約を設ける必要はないが、本濃度を未臨界性判断のホールドポイントとした。

\blacksquare について商業機密上の観点から公開できません。

第2. - 4 図 プルトニウム溶液の事象進展

分離建屋 抽出廃液受槽の例

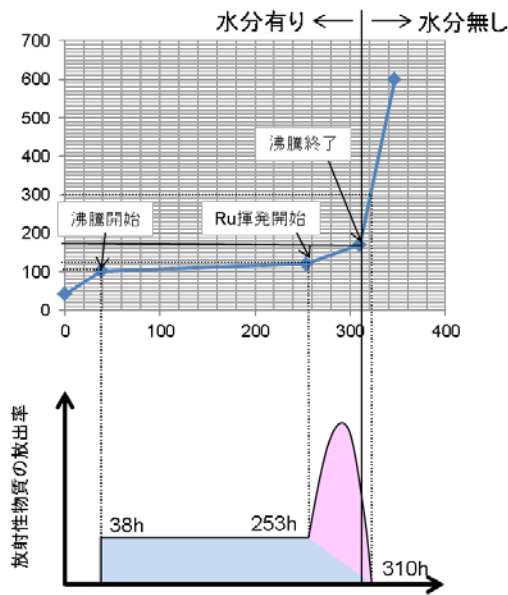


状態	発生の可能性がある事象			
	揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
水分有り	-※1	-	-※1	-
水分無し	-※1	-	-※1	-※2

※1 事象進展が非常に緩慢であり発生は想定されない。
 ※2 崩壊熱が小さく貯槽損傷の可能性は十分低い。

第2. - 5 図 抽出廃液の事象進展

高レベル廃液ガラス固化建屋 高レベル廃液混合槽の例



状態	発生のある可能性がある事象			
	揮発	臨界	爆発	貯槽損傷
水分有り	○※1	—	○※3	—
水分無し	○※2	—	○※3	○※4

- ※1 高濃度の硝酸が有する酸化力に因る揮発性Ru化学種の生成。
- ※2 Ru硝酸塩の熱分解に因る揮発性Ru化学種の生成。また、乾固物の温度上昇に伴い、Csの揮発が発生する。
- ※3 爆発の発生の可能性を排除できない。考察を2.3に示す。
- ※4 乾固物の温度上昇に伴う貯槽損傷の可能性あり。また、乾固物の温度上昇に伴い、Csの揮発が発生する。

※高レベル混合廃液については、アルカリ濃縮廃液等の成分割合を考慮し、高レベル濃縮廃液の崩壊熱密度に対して補正を行った。

第 2. - 6 図 高レベル混合廃液の事象進展

2.2 貯槽損傷の判定について

乾燥・固化後の物理的な性質が不明なため、 UO_2 と同じ熱物性と仮定し、密度 $11 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、比熱 300 J/kg K 、熱伝導率 10 W/m K とする。精製建屋の希釈槽 (2.5 m^3 21.5 kW) の場合、乾燥・固化後の温度挙動が、貯槽壁面の温度で 1250°C から 1500°C 程度となり、貯槽損傷の可能性はある。

蒸発乾固期間中の溶液濃縮に伴う腐食影響については、より厳しい評価結果となるよう評価しても 0.1 mm にも満たないことから、沸騰開始から乾燥・固化に至るまでの間に、腐食によって貯槽が損傷することは想定し難い。

2.3 温度上昇に伴う爆発事象への進展の検討

爆発の発生の可能性について、以下の分析を実施する。

- (1) 過去の国内外事故事例を分析し、蒸発・濃縮期間中及び乾燥・固化後の状態において類似事象の発生の調査をした結果、六ヶ所再処理施設は、プロセスの違いや爆発に寄与する物質の使用の観点から、報告されているような爆発の発生はしないが、硝酸/硝酸塩と有機物が混在している状態で、かつ、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合や硝酸ヒドロキシルアミンが存在している状態で、かつ、冷却機能が喪失し、液温が上昇し水分が蒸発して硝酸ヒドロキシルアミンが濃縮する場合においては、爆発の可能性は否定できないと判断する。(別紙1参照)
- (2) 類似事象の発生の可能性について、再処理施設で扱う化学物質の共存性に着目し、爆発等への進展の可能性のある化学物質の組み合わせについて調査した。
 - (a) 各建屋において扱う化学物質の種類と爆発への進展の可能性
各建屋において扱う可能性のある化学物質を第2. - 2表に示す。

第2. - 2表 各建屋において扱う化学物質の種類

前処理建屋	分離建屋	精製建屋	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	高レベル廃液ガラス固化建屋
<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸(水) ・硝酸塩 ・不溶解残渣(ジルコニウム) ・不溶解残渣(ジルコニウム以外) ・水酸化ナトリウム 	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸(水) ・硝酸塩 ・水酸化ナトリウム ・炭酸ナトリウム ・亜硝酸ナトリウム ・硝酸ヒドラジン ・n-ドデカン ・TBP ・DBP ・MBP ・リン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸(水) ・硝酸塩 ・水酸化ナトリウム ・炭酸ナトリウム ・亜硝酸ナトリウム ・硝酸ヒドラジン ・硝酸ヒドロキシルアミン ・n-ドデカン ・TBP ・DBP ・MBP ・リン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸(水) ・硝酸塩 ・硝酸ヒドラジン ・硝酸ヒドロキシルアミン ・n-ドデカン ・TBP ・DBP ・MBP ・リン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸(水) ・硝酸塩 ・水酸化ナトリウム ・n-ドデカン ・TBP ・DBP ・MBP ・リン酸 ・亜硝酸ナトリウム ・不溶解残渣(ジルコニウム) ・不溶解残渣(ジルコニウム以外)

- (3) 各建屋の爆発等へ進展する可能性のある貯槽の抽出
- (a) 化学物質の爆発への進展の可能性について

再処理施設において使用する化学物質の性質を第 2. - 3 表に示す。

化学物質の自己反応及び共存性の検討を第 2. - 4 表に示す。検討結果、「硝酸ヒドラジン/硝酸ヒドロキシルアミンの自己反応」、「硝酸塩及び有機物の混合による反応」及び「有機物の分解反応」が爆発への進展の可能性を有すると整理される。

第 2. - 3 表 再処理施設において使用する化学物質の性質

化学物質	性質	カテゴリー
硝酸(水)	酸化性液体	①'
硝酸塩	酸化性固体	①
不溶解残渣(ジルコニウム)	金属粉末(可燃物), 高温で水と反応し水素発生	②
不溶解残渣(ジルコニウム以外)	-	
水酸化ナトリウム	強塩基	⑤
炭酸ナトリウム	-	
亜硝酸ナトリウム	酸化性固体	①
硝酸ヒドラジン	自己反応性物質	③
n-ドデカン	可燃物	④
TBP	可燃物	④
DBP	可燃物	④
MBP	可燃物	④
リン酸	-	
硝酸ヒドロキシルアミン	自己反応性物質	③

第 2. - 4 表 化学物質の自己反応及び共存性の検討

反応の可能性	反応種		理由
自己反応性物質による反応	③	単独で反応の可能性有り	建屋ごとに発生の可能性を検討する。
酸化性物質と可燃物の混合による反応	①+④	混合, 接触により反応の可能性有り	建屋ごとに発生の可能性を検討する。
可燃性のガスの発生による爆発	②+水+酸素	高温でジルコニウム粉末と水で水素発生。酸素と反応し爆発	水-Zr 反応は 800℃程度の高温条件下で発生するが, 蒸発乾固の事象進展の特徴からこのような状況は想定されない。
	④+酸素	高温で可燃物が(分解し, ガス発生), 酸素と反応し爆発。	建屋ごとに発生の可能性を検討する。
	③+⑤+酸素	可燃性のガスが発生し, 酸素と反応し爆発	水酸化ナトリウムについては, 除染を行う際に非定常で使用する試薬であり, 使用する際は内包している液を払出してから除染を行うため, 今回の蒸発乾固の想定からは外れるため, 検討から除外する。
強酸と強塩基	①'+⑤	中和熱が発生し, 急激な温度上昇の可能性	

(b) 各建屋における化学物質の爆発への進展の可能性について

(i) 前処理建屋

前処理建屋では有意な反応へ進展する可能性のある機器は無い。

第 2. - 5 表 前処理建屋における化学物質の爆発への進展の可能性

機器名	化学物質が存在する可能性				
	硝酸 (水)	硝酸塩	水酸化ナトリウム	不溶解残渣 (ジルコニウム)	不溶解残渣 (ジルコニウム以外)
中継槽A・B	○	○	×	○	○
リサイクル槽A・B	○	○	×	○	○
不溶解残渣回収槽A・B	○	○	×	○	○
計量前中間貯槽A・B	○	○	×	△※	△※
計量後中間貯槽	○	○	×	△※	△※
計量・調整槽	○	○	×	△※	△※
計量補助槽	○	○	×	△※	△※
中間ポットA・B	○	○	×	○	○

※: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。

(ii) 分離建屋

分離建屋において有意な反応へ進展する可能性のある機器を以下に示す。

- ・ 第 1 一時貯留処理槽 (酸化性物質と可燃物の混合による反応, 可燃性のガスの発生による爆発)
- ・ 第 8 一時貯留処理槽 (自己反応性物質による反応, 酸化性物質と可燃物の混合による反応, 可燃性のガスの発生による爆発)
- ・ 第 7 一時貯留処理槽 (自己反応性物質による反応)
- ・ 第 6 一時貯留処理槽 (酸化性物質と可燃物の混合による反応, 可燃性のガスの発生による爆発)

第2. - 6表 分離建屋における化学物質の爆発への進展の可能性

機器名	化学物質が存在する可能性										
	硝酸(水)	硝酸塩	水酸化ナトリウム	炭酸ナトリウム	亜硝酸ナトリウム	硝酸ヒドラジン	n-ドデカン	TBP	DBP	MBP	リン酸
溶解液中間貯槽	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
溶解液供給槽	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
抽出廃液受槽	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※
抽出廃液中間貯槽	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※
抽出廃液供給槽A・B	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※
第1一時貯留処理槽 (有機相)	○	○	×	×	×	×	○	○	△※	△※	△※
第1一時貯留処理槽 (水相)	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※
第8一時貯留処理槽 (有機相)	○	○	×	×	×	×	○	○	△※	△※	△※
第8一時貯留処理槽 (水相)	○	○	×	×	×	○	△※	△※	△※	△※	△※
第7一時貯留処理槽	○	○	×	×	○	○	△※	△※	△※	△※	△※
第3一時貯留処理槽	○	○	×	×	○	△※	△※	△※	△※	△※	△※
第4一時貯留処理槽	○	○	×	×	○	△※	△※	△※	△※	△※	△※
第6一時貯留処理槽 (有機相)	○	○	×	×	×	×	○	○	△※	△※	△※
第6一時貯留処理槽 (水相)	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※
高レベル廃液供給槽A	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※
高レベル廃液濃縮缶A	○	○	×	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※

※: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。

(iii) 精製建屋

精製建屋において有意な反応へ進展する可能性のある機器を以下に示す。

- ・ 第1一時貯留処理槽（酸化性物質と可燃物の混合による反応，可燃性のガスの発生による爆発）
- ・ 第2一時貯留処理槽（自己反応性物質による反応，酸化性物質と可燃物の混合による反応，可燃性のガスの発生による爆発）
- ・ 第3一時貯留処理槽（自己反応性物質による反応，酸化性物質と可燃物の混合による反応，可燃性のガスの発生による爆発）

第2. - 7表 精製建屋における化学物質の爆発への進展の可能性

機器名	化学物質が存在する可能性											
	硝酸(水)	硝酸塩	水酸化ナトリウム	炭酸ナトリウム	亜硝酸ナトリウム	n-ドデカン	TBP	DBP	MBP	リン酸	硝酸ヒドロキシルアミン	硝酸ヒドラジン
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	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
プルトニウム濃縮液受槽	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
リサイクル槽	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
希釈槽	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
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	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
プルトニウム濃縮液中間貯槽	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
第1一時貯留処理槽 有機相	○	○	×	×	×	○	○	△※	△※	△※	×	×
第1一時貯留処理槽 水相	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	△※	△※
第2一時貯留処理槽 有機相	○	○	×	×	×	○	○	△※	△※	△※	×	×
第2一時貯留処理槽 水相	○	○	×	×	×	△※	△※	△※	△※	△※	○	○
第3一時貯留処理槽	○	○	×	×	×	○	○	△※	△※	△※	○	○

※: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。

(iv) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋では有意な反応へ進展する可能性のある機器は無い。

第2. - 8表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における化学物質の爆発への進展の可能性

機器名称	化学物質が存在する可能性								
	硝酸(水)	硝酸塩	n-ドデカン	TBP	DBP	MBP	リン酸	硝酸ヒドロキシルアミン	硝酸ヒドラジン
硝酸プルトニウム貯槽	○	○	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1
混合槽A・B	○	○	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1
一時貯槽※2	○	○	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1

※1: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。
 ※2: プルトニウム濃縮液を貯蔵している場合

(v) 高レベル廃液ガラス固化建屋

高レベル廃液ガラス固化建屋において有意な反応へ進展する可能性のある機器を以下に示す。

- ・高レベル廃液混合槽（酸化性物質と可燃物の混合による反応，可燃性のガスの発生による爆発）
- ・供給液槽（酸化性物質と可燃物の混合による反応，可燃性のガスの発生による爆発）
- ・供給槽（酸化性物質と可燃物の混合による反応，可燃性のガスの発生による爆発）

第2. - 9表 高レベル廃液ガラス固化建屋における化学物質の爆発への進展の可能性

機器名称	化学物質が存在する可能性										
	硝酸 (水)	硝酸塩	水酸化 ナトリウ ム	亜硝酸 ナトリウ ム	n-ドデ カン	TBP	DBP	MBP	リン酸	不溶解残渣 (ジルコニウム)	不溶解残渣 (ジルコニウム 以外)
第1・第2高レベル濃縮廃液貯槽	○	○	×	×	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	×	×
第1・第2高レベル濃縮廃液一時貯槽	○	○	×	×	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	×	×
第1・第2不溶解残渣廃液一時貯槽	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○
第1・第2不溶解残渣廃液貯槽	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○
高レベル廃液共用貯槽※2	○	○	×	×	△※1	△※1	△※1	△※1	△※1	×	×
高レベル廃液混合槽A・B	○	○	×	×	△※1	△※1	○	○	○	○	○
供給液槽A・B	○	○	×	×	△※1	△※1	○	○	○	○	○
供給槽A・B	○	○	×	×	△※1	△※1	○	○	○	○	○

※1: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。

※2: 高レベル濃縮廃液を貯蔵している場合

(c) 各建屋の各貯槽における化学物質の爆発への進展の可能性について

(i) 分離建屋

分離建屋の爆発の可能性のある貯槽は、第1一時貯留処理槽、第8一時貯留処理槽、第7一時貯留処理槽及び第6一時貯留処理槽である。想定される反応は以下のとおりである。

1) 自己反応性物質による反応（硝酸ヒドラジン）

第8一時貯留処理槽に入る硝酸ヒドラジンを含む溶液の液性を考慮すると、総崩壊熱は最大でも1kW程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。また、第7一時貯留処理槽に入る可能性のある硝酸ヒドラジンは、プルトニウム溶液中間貯槽からのオーバーフローによるものであり、当該溶液が流入することは基本的になく、硝酸ヒドラジンを原因とした爆発等の発生は想定されない。

2) 酸化性物質と可燃物の混合による反応（硝酸塩と可燃物（n-ドデカン，TBP，DBP，MBP））

第1一時貯留処理槽、第8一時貯留処理槽及び第6一時貯留処理槽に入る可燃物（n-ドデカン，TBP，DBP，MBP）を含む溶液の液性を考慮すると、総崩壊熱は最大でも1kW程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。

3) 可燃性のガスが発生し爆発（可燃物（n-ドデカン，TBP，DBP，MBP））

第1一時貯留処理槽、第8一時貯留処理槽及び第6一時貯留処理槽に入る可燃物（n-ドデカン，TBP，DBP，MBP）を

含む溶液の液性を考慮すると、総崩壊熱は最大でも 1kW 程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。

4) 分離建屋の各貯槽における化学物質の爆発への進展の可能性

複数の機器から溶液を受入れる分離建屋一時貯留処理設備で有意な反応へ進展する可能性のある機器について、通常状態で受入れら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 1kW 程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。

また、第7一時貯留処理槽については、通常状態で受入れる可能性のある溶液では、爆発等の反応に進展することはない。

第2. -10表 分離建屋の化学物質の爆発へ進展の可能性がある貯槽での受入れについて

機器名	受入れ機器名称	受入れる機器からの溶液		受入れ先の機器での総崩壊熱※1
		TBP、n-ドデカン	硝酸ヒドラジン	
第1一時貯留処理槽 (有機相/水相)	抽出塔	○	×	低
	第1洗浄塔	○	×	低
	第2洗浄塔	○	×	低
	補助抽出器	○	×	低
	TBP洗浄器	○	×	低
第7一時貯留処理槽	第1一時貯留処理槽 (水相)	△※2	×	低
	溶解液中間貯槽※3	×	×	高
	プルトニウム溶液中間貯槽※3	×	○	低
第8一時貯留処理槽 (有機相/水相)	プルトニウム分配塔	○	○	低
	ウラン洗浄塔	○	○	低
	プルトニウム溶液TBP洗浄器	○	○	低
	プルトニウム洗浄器	○	○	低
第6一時貯留処理槽 (有機相/水相)	抽出塔	○	×	低
	TBP洗浄塔	○	×	低

※1: 受入れ先での総崩壊熱量が、1kW未満のものを低、1kW以上のものを高。

※2: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。

※3: 当該機器からの受入れラインはオーバーフローラインのみであり、当該溶液が流入することは基本的に無いことから対象外。

(ii) 精製建屋

精製建屋の爆発の可能性のある貯槽は、第1一時貯留処理槽、第2一時貯留処理槽及び第3一時貯留処理槽である。想定される反応は以下のとおりである。

- 1) 自己反応性物質による反応（硝酸ヒドラジン、硝酸ヒドロキシルアミン）

第2一時貯留処理槽及び第3一時貯留処理槽に入る硝酸ヒドラジン、硝酸ヒドロキシルアミンを含む溶液の液性を考慮すると、総崩壊熱は最大でも1kW程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。

- 2) 酸化性物質と可燃物の混合による反応（硝酸塩と可燃物（n-ドデカン、TBP、DBP、MBP））

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入る可燃物（n-ドデカン、TBP、DBP、MBP）を含む溶液の液性を考慮すると、総崩壊熱は最大でも1kW程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。

- 3) 可燃性のガスが発生し爆発（可燃物（n-ドデカン、TBP、DBP、MBP））

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入る可燃物（n-ドデカン、TBP、DBP、MBP）を含む溶液の液性を考慮すると、総崩壊熱は最大でも1kW程度であり、溶液の濃縮又は温度上昇が想定されないことから、爆発等の反応に進展することはない。

- 4) 精製建屋の各貯槽における化学物質の爆発への進展の可能性

複数の機器から溶液を受入れる精製建屋一時貯留処理設備で有意な反応へ進展する可能性のある機器について、通常状態で受入れら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ないことから、爆発等の反応に進展することはない。

第2. -11表 精製建屋の化学物質の爆発へ進展の可能性がある貯槽での受入れについて

機器名	受入れ機器名称	受入れる機器からの溶液		受入れ先の機器での総崩壊熱※1
		TBP、n-ドデカン	硝酸ヒドラジン、硝酸ヒドロキシルアミン	
第1一時貯留処理槽 (有機相/水相)	抽出塔	○	×	低
	核分裂生成物洗浄塔	○	×	低
	TBP洗浄塔	○	×	低
	低濃度プルトニウム溶液受槽※3	△※2	△※2	-
	プルトニウム溶液受槽※3	△※2	△※2	-
	油水分離槽※3	△※2	△※2	-
	プルトニウム濃縮缶供給槽※3	△※2	△※2	-
第2一時貯留処理槽 (有機相/水相)	逆抽出塔	○	○	低
	ウラン洗浄塔	○	○	低
	TBP洗浄器	○	○	低
	補助油水分離槽	△※2	○	低
	プルトニウム洗浄器	○	○	低
	プルトニウム溶液供給槽※3	×	○	-
第3一時貯留処理槽	第1一時貯留処理槽 (水相)	△※2	×	低
	第2一時貯留処理槽 (水相)	△※2	○	低
	抽出廃液受槽	○	×	低

※1: 受入れ先での総崩壊熱量が、1kW未満のものを低、1kW以上のものを高。

※2: 流入する経路が存在するものの上流の機器で除去されることから、仮に存在する場合であっても極微量である。

※3: 当該機器からの受入れる溶液は、機器内洗浄した後の極薄い溶液であり、通常受入れることはないため対象外。

(iii) 高レベル廃液ガラス固化建屋

高レベル廃液ガラス固化建屋の爆発の可能性がある貯槽は、高レベル廃液混合槽、供給液槽及び供給槽である。想定される反応は以下のとおりである。

- 1) 酸化性物質と可燃物の混合による反応（硝酸塩と可燃物（n-ドデカン，TBP，DBP，MBP））

高レベル廃液混合槽，供給液槽及び供給槽に入る可燃物（*n*-ドデカン，TBP，DBP，MBP）を含む溶液の液性を考慮し，反応が想定される温度以上になるまでの時間を算出すると，約270時間となる。

- 2) 可燃性のガスが発生し爆発（可燃物（*n*-ドデカン，TBP，DBP，MBP））

高レベル廃液混合槽，供給液槽及び供給槽に入る可燃物（*n*-ドデカン，TBP，DBP，MBP）を含む溶液の液性を考慮し，反応が想定される温度以上になるまでの時間を算出すると，約270時間となる。

- 3) 高レベル廃液ガラス固化建屋の各貯槽における化学物質の爆発への進展の可能性

高レベル廃液ガラス固化建屋の3貯槽についても，事象進展は比較的緩慢ではあるが，爆発等により高レベル廃液が飛散する可能性を有しており，環境影響を悪化させる潜在的なリスクがあることから，「(4) 高レベル廃液混合槽，供給液槽，供給槽における爆発の可能性及び爆発の影響について」においてさらに考察を加える。

- (4) 高レベル廃液混合槽，供給液槽，供給槽における爆発の可能性及び爆発の影響について

高レベル廃液ガラス固化建屋の3貯槽（高レベル廃液混合槽，供給液槽，供給槽）について，内包している供給廃液の模擬液により，TGA-DTAで熱分解挙動を確認・評価した結果，急激な重量変動や熱反応は確認されなかった。また，供給廃液の模擬液を加熱し，冷却後の外観から爆発に起因する飛散物は確認されなかった。

模擬供給廃液を使用した新型ガラス溶融炉のモックアップ試験（以下、K2MOC試験という。）において、パラメータから、急激な温度変動や圧力変動の有無を確認した結果、急激な温度変動や圧力変動は見られなかった。また、模擬廃液供給の観察から急激な反応は観察されなかった。

以上より、高レベル廃液ガラス固化建屋の3貯槽において、冷却機能の喪失により溶液の温度が上昇した場合であっても、爆発に至る可能性は低いものと考えられる。万が一爆発に至った場合における爆発規模は、最も容量が大きい高レベル廃液混合槽においてもTNT換算で2kg程度であり、機器や可搬型フィルタの健全性を損なうものではない。（別紙2参照）

2.4 蒸発乾固の進展による臨界の発生の可能性について

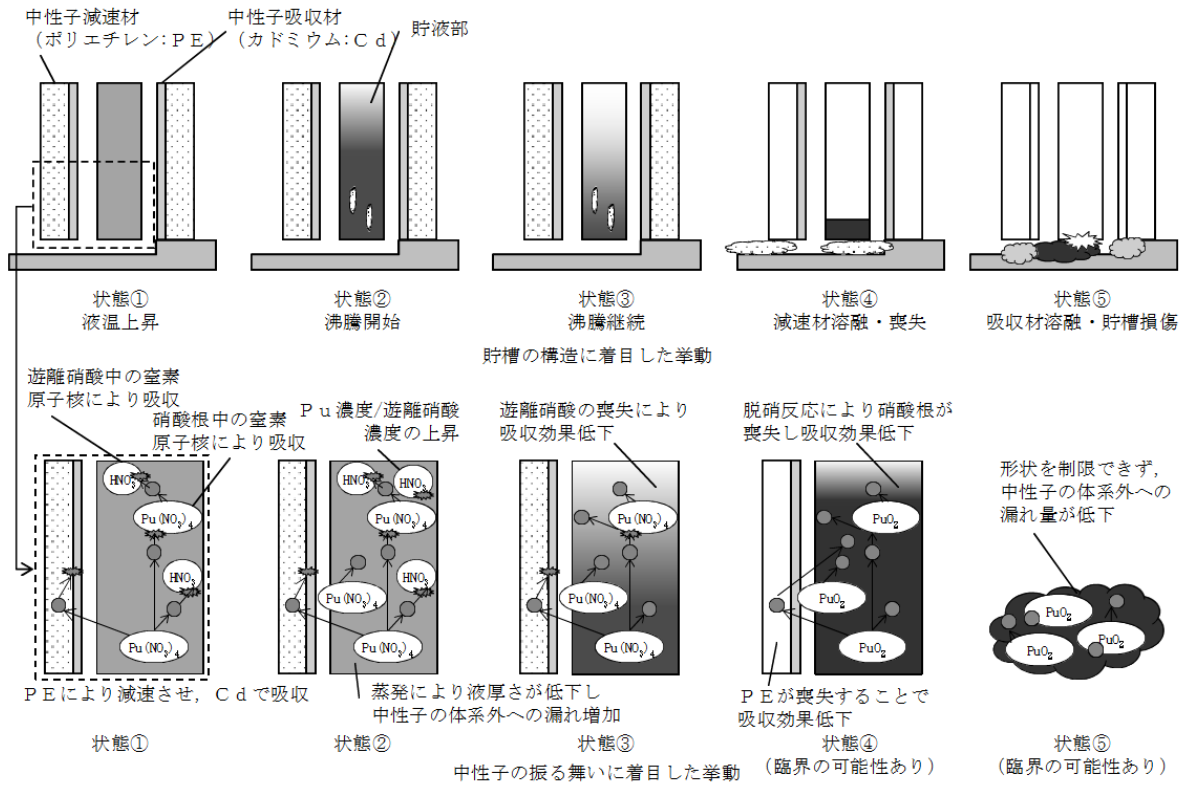
2.4.1 蒸発乾固の進展に伴うプルトニウム濃縮液の未臨界性の整理

2.4.1.1 プルトニウム濃縮液を内包する環状形槽の蒸発乾固の進展について

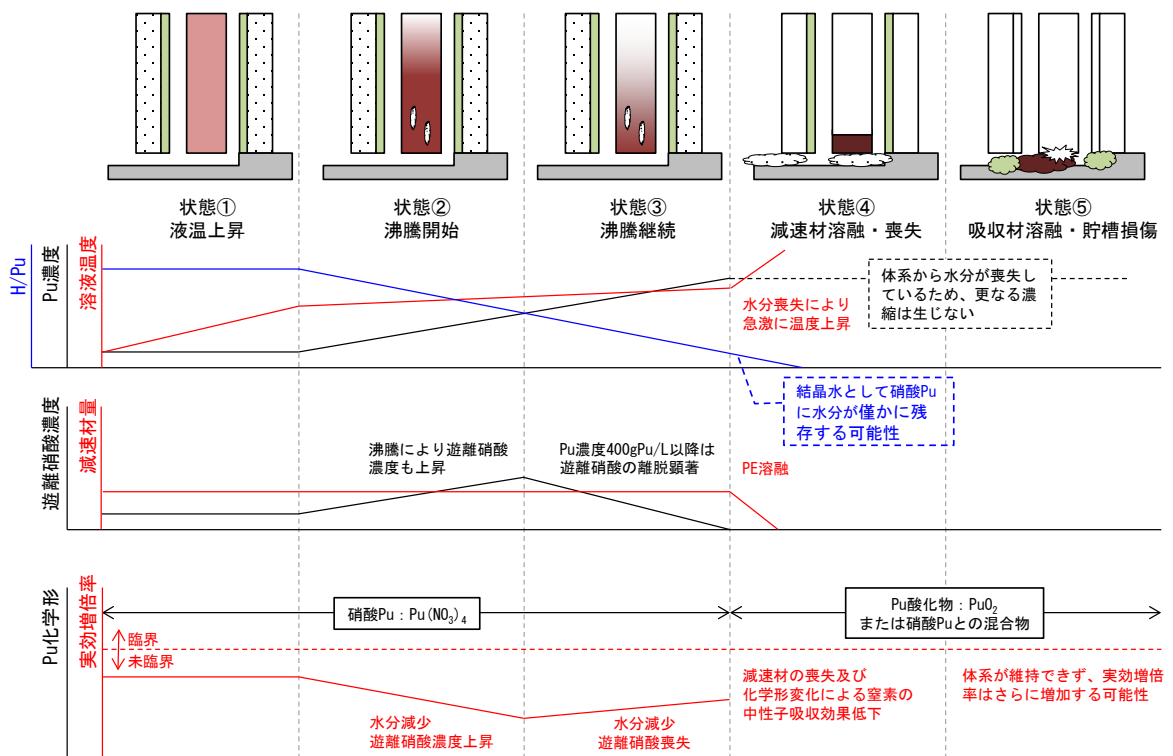
再処理施設で取り扱われる溶液のうち、崩壊熱密度が比較的大きい溶液であるプルトニウム濃縮液は、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の環状形槽において貯留される。

精製建屋の環状形槽は、蒸発乾固への対策が十分に機能しないことを想定した場合、蒸発乾固が進展し、崩壊熱により溶液の温度が上昇することで水分が喪失し、硝酸プルトニウムの脱硝反応が生じるとともに、中性子減速材であるポリエチレン及び中性子吸収材であるカドミウム（以下、中性子吸収材等という）が溶融・喪失するおそれがある。進展の概念を第 2-7 図、第 2-8 図及び第 1 表に示す。

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の環状形槽においても同様に脱硝反応が生じることが予想されるが、軟化点が低いポリエチレンは使用していない。



第2-7図 プルトニウム濃縮液を内包する環状形槽における概念図



第2-8図 環状形槽におけるパラメータ変化の概念図

第 2-12 表 プルトニウム濃縮液の環状形槽におけるパラメータ変化

状態	解説	臨界安全設計条件との関係	Pu の化学形	平均 Pu 濃度 (密度)	H/Pu	中性子吸収材等の有無
状態①	崩壊熱により液温が上昇していくが、沸騰には至っておらず、Pu 濃度の変化もない。	設計条件内	Pu(NO ₃) ₄	~250gPu/L	~約 90	PE : 有り Cd : 有り
状態②	沸騰が生じ、プルトニウム濃度が上昇していく。この状態では、Pu 濃度と酸濃度の関係から、遊離硝酸濃度は維持される。また、蒸発により液厚さは低下していき、体系外への中性子の漏れが大きくなる。	設計条件内	Pu(NO ₃) ₄	~約 400gPu/L	~約 40	PE : 有り Cd : 有り
状態③	Pu 濃度が一定以上に上昇した場合、蒸発により失われる酸の量が大きくなり、溶液中の遊離硝酸濃度が低下していくことで、中性子の吸収効果が低下する。	設計条件内	Pu(NO ₃) ₄	~約 1200gPu/L(硝酸 Pu 五水和物 (H/Pu=10)の理論密度に相当する Pu 密度 (濃度))	~10	PE : 有り Cd : 有り
状態④	水分が失われ※、急激に温度が上昇することにより脱硝反応が生じ、Pu の化学形が変化することで硝酸根による中性子吸収効果が低下する。また、温度上昇により、中性子減速材が溶融し、喪失する。 ※硝酸 Pu は水和物を形成するため、結晶水としての水分が残存する可能性がある。	設計条件を超過	PuO ₂ または Pu(NO ₃) ₄ との混合物	H/Pu=10 に相当する Pu 密度 (硝酸 Pu においては約 1200gPu/L、二酸化 Pu においては約 2100gPu/L) ~ H/Pu=0 に相当する Pu 密度 (硝酸 Pu においては約 2190gPu/L、二酸化 Pu においては約 10000gPu/L)	10 未満	PE : 無し Cd : 有り

状態	解説	臨界安全設計条件との関係	Pu の化学形	平均 Pu 濃度 (密度)	H/Pu	中性子吸収材等の有無
状態⑤	構造材 (ステンレス鋼) の融点に到達し, 貯槽の構造が維持できなくなることにより, Pu を含む溶融物がセルに漏出する。これにより, 貯槽によって制限されていた燃料形状が維持できなくなる。	設計条件を超過	PuO ₂ または Pu(NO ₃) ₄ との混合物	—	—	PE : 無し Cd : 無し

略称

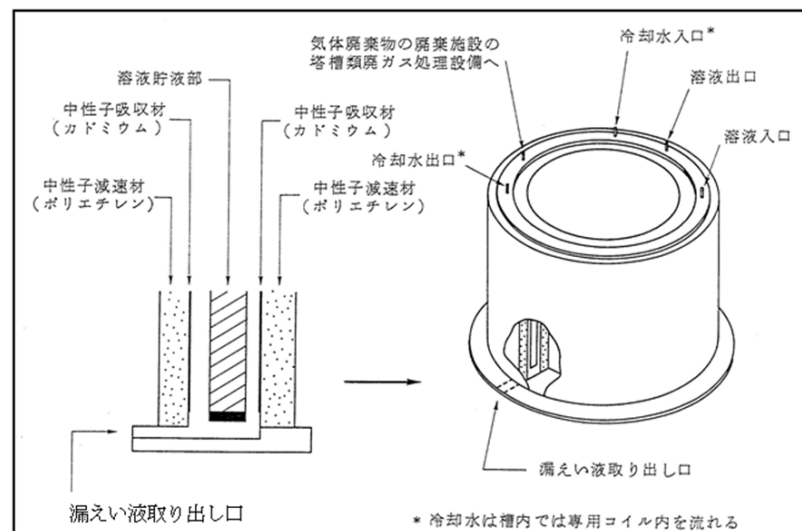
PE : ポリエチレン

Cd : カドミウム

2.4.2 蒸発乾固の進展に伴うプルトニウム濃縮液の未臨界性の整理（精製建屋）

2.4.2.1 精製建屋の機器の特徴

精製建屋のプルトニウム濃縮液を内包する機器の構造は、第 2. - 9 図に示す環状形槽であり、全濃度安全形状寸法管理及び中性子吸収材管理により未臨界を確保しており、中性子吸収材としてカドミウムを用いるとともに、ポリエチレンにより中性子を減速させ、中性子吸収効果を確保している。ポリエチレンの軟化点は約 120℃、カドミウムの融点は約 320℃である。内包する溶液のプルトニウムは、硝酸プルトニウムとして存在（化学形： $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ ）し、プルトニウム濃度は～約 250 g Pu / L である。遊離硝酸の濃度は～約 7 mol / L である。



第 2. - 9 図 精製建屋の環状形槽

2.4.2.2 臨界計算モデルの設定

臨界計算モデルを第 2. -10 図から第 2. -12 図に示す。また、臨界計算モデルにおいて設定した数値とその根拠を第 2. -13 表に示すとともに、臨界計算上のプルトニウムの性状、中性子吸収材等に係る設定値とその根拠を第 2. -14 表に示す。

臨界計算モデルの設定においては、可能な限り実現象と整合した計算結果が得られるよう、現実的な条件を設定するが、現象の不確実性を考慮して、パラメータに幅を持たせて計算を行う。

第 2-13 表 精製建屋におけるプルトニウム濃縮液を内包する環状形槽の
 臨界計算モデルの設定値等とその根拠

項目	設定値	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕														
配置	複数ユニット（2 貯槽）	精製建屋において Pu 濃縮液を内包する環状形槽は 6 貯槽存在し、1 セルに 2 貯槽ずつ配置されていることから、現実的な条件として設定。	—	—														
燃料領域の高さ	250gPu/L において [] mm とし、Pu 濃度に応じて Pu 質量が保存されるよう設定	精製建屋で Pu 濃縮液を内包する環状形槽のうち、Pu 濃縮液の保持可能な量が最大となる Pu 濃縮液一時貯槽の公称液位を基に設定。	冷却機能喪失時に貯槽内の液高さが設定値以下である場合、実効増倍率は低下する。	精製建屋で Pu 濃縮液を内包する環状形槽の公称液位は以下のとおりであり、設定値は希釈槽を除く貯槽の液位を包絡できるように設定。 <table border="1" data-bbox="1615 938 2056 1201"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>公称液位 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>希釈槽</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>プルトニウム濃縮液一時貯槽</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>プルトニウム濃縮液受槽</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>リサイクル槽</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>プルトニウム濃縮液計量槽</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>プルトニウム濃縮液中間貯槽</td> <td>[]</td> </tr> </tbody> </table> 希釈槽は運用上、他の貯槽に移送する場合は移送する溶液中の Pu 濃度が 24gPu/L 以下	機器	公称液位 (mm)	希釈槽	[]	プルトニウム濃縮液一時貯槽	[]	プルトニウム濃縮液受槽	[]	リサイクル槽	[]	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	[]
機器	公称液位 (mm)																	
希釈槽	[]																	
プルトニウム濃縮液一時貯槽	[]																	
プルトニウム濃縮液受槽	[]																	
リサイクル槽	[]																	
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	[]																	

[] について商業機密上の観点から公開できません。

項目	設定値	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
				となるよう管理されている。したがって、希釈槽において貯留可能な最大 Pu 量を貯槽内に内包した状態は、24gPu/L の Pu 溶液を満載した場合であり、その場合、Pu 濃縮液（250gPu/L）に相当する液高さは約 ■ cm 程度であることから、臨界計算モデルとして設定した燃料領域の高さは希釈槽の燃料領域の高さより高くなる。
貯槽間距離	■ mm	貯槽間距離が狭い方が両貯槽間の中性子相互干渉が大きくなり、臨界評価上より厳しい結果を与えるため、6 貯槽の貯槽間距離のうち最も狭い距離を設定。	—	貯槽間距離が最短となるのは Pu 濃縮液受槽セルに設置される Pu 濃縮液受槽-リサイクル槽であって、約 ■ mm であるが、より厳しい結果を与えるよう貯槽間距離を短く設定する。
水平方向境界条件	コンクリート反射	セル壁における反射を考慮し設定	—	実際には貯槽-コンクリート間に空間が存在するが、より厳しい結果を与えるよう評価上は空間を設けていない。

■ について商業機密上の観点から公開できません。

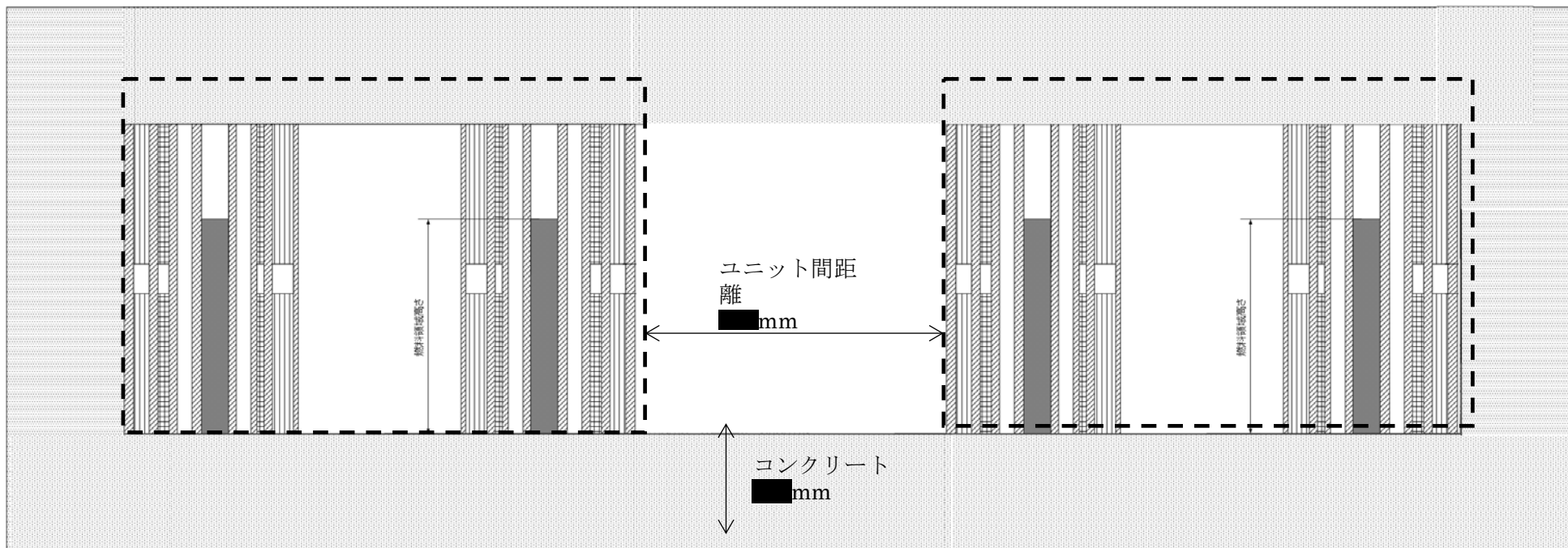
項目	設定値	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
垂直方向境界条件	コンクリート反射	セル壁における反射を考慮し設定		実際には貯槽-コンクリート間に空間が存在するが、より厳しい結果を与えるよう評価上は空間を設けていない。
計算コード	SCALE コードシステム	—	—	—

第 2.-14 表 精製建屋のプルトニウム濃縮液を内包する環状形槽の臨界計算モデルにおける
プルトニウムの性状、中性子吸収材等の設定値等とその根拠

項目	状態①～状態③ (第 1 表と対 応)	状態④ (第 1 表と対 応)	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
Pu の 化学形	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{PuO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	水分が喪失した状態にな った場合、急激に温度が 上昇することにより脱硝 反応が生じ、Pu の化学 形が変化することで窒素 原子による中性子吸収効 果が低下する。	状態④では硝酸 Pu と PuO_2 が混在した状況も 想定される。	状態④では硝酸 Pu と PuO_2 が混在した状況も想 定されるが、より厳しい結 果を与えるよう PuO_2 と する。

項目	状態①～状態③ (第1表と対応)	状態④ (第1表と対応)	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
Pu濃度	250gPu/L～ 2190gPu/L (硝酸Puの理論密度に相当)	2100gPu/L (PuO ₂ -H ₂ OにおいてH/Pu=10に相当するPu濃度)～ 10000gPu/L (PuO ₂ の理論密度に相当するPu濃度)	状態に応じてとりうるPu濃度を考慮した上で設定。	状態④は水分が喪失した状態であり、脱硝反応によるPu濃度の更なる上昇は考え難い。	脱硝反応によるPu濃度の更なる上昇は考え難いが、脱硝体の不確実性を包絡できるように、状態④の評価においては、H/Pu=10に相当するPu濃度からPuO ₂ 理論密度に相当するPu濃度までを評価の対象とする。
Pu同位体組成	Pu-239 : 71wt% Pu-240 : 17wt% Pu-241 : 12wt%	Pu-239 : 71wt% Pu-240 : 17wt% Pu-241 : 12wt%	臨界安全管理として実施する同位体組成管理の条件を基に設定	—	非核分裂性物質であるPu-238、Pu-242を零とする。





項目	状態①～状態③ (第1表と対応)	状態④ (第1表と対応)	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
遊離硝酸	0 N	0 N	より厳しい結果を与えるよう、遊離硝酸は考慮しない。	脱硝反応開始前の貯槽内の遊離硝酸の濃度は～約7 mol/Lであり、状態②において徐々に上昇、状態③において徐々に低下する。	脱硝反応開始前の貯槽内の遊離硝酸の濃度は～約7 mol/Lであり、遊離硝酸が存在する状態①～③においては、硝酸根中の窒素原子による中性子吸収効果が期待できるが、より厳しい結果を与えるよう、遊離硝酸は考慮しない。
中性子吸収材等の有無	PE：有り Cd：有り	PE：無し Cd：無し	状態④は水分が喪失した状態であり、急激に温度が上昇することにより中性子吸収材等が熔融し、喪失した設定とする。	—	状態④においては中性子吸収材であるCdは喪失していないが、より厳しい結果を与えるよう中性子吸収材を考慮していない。

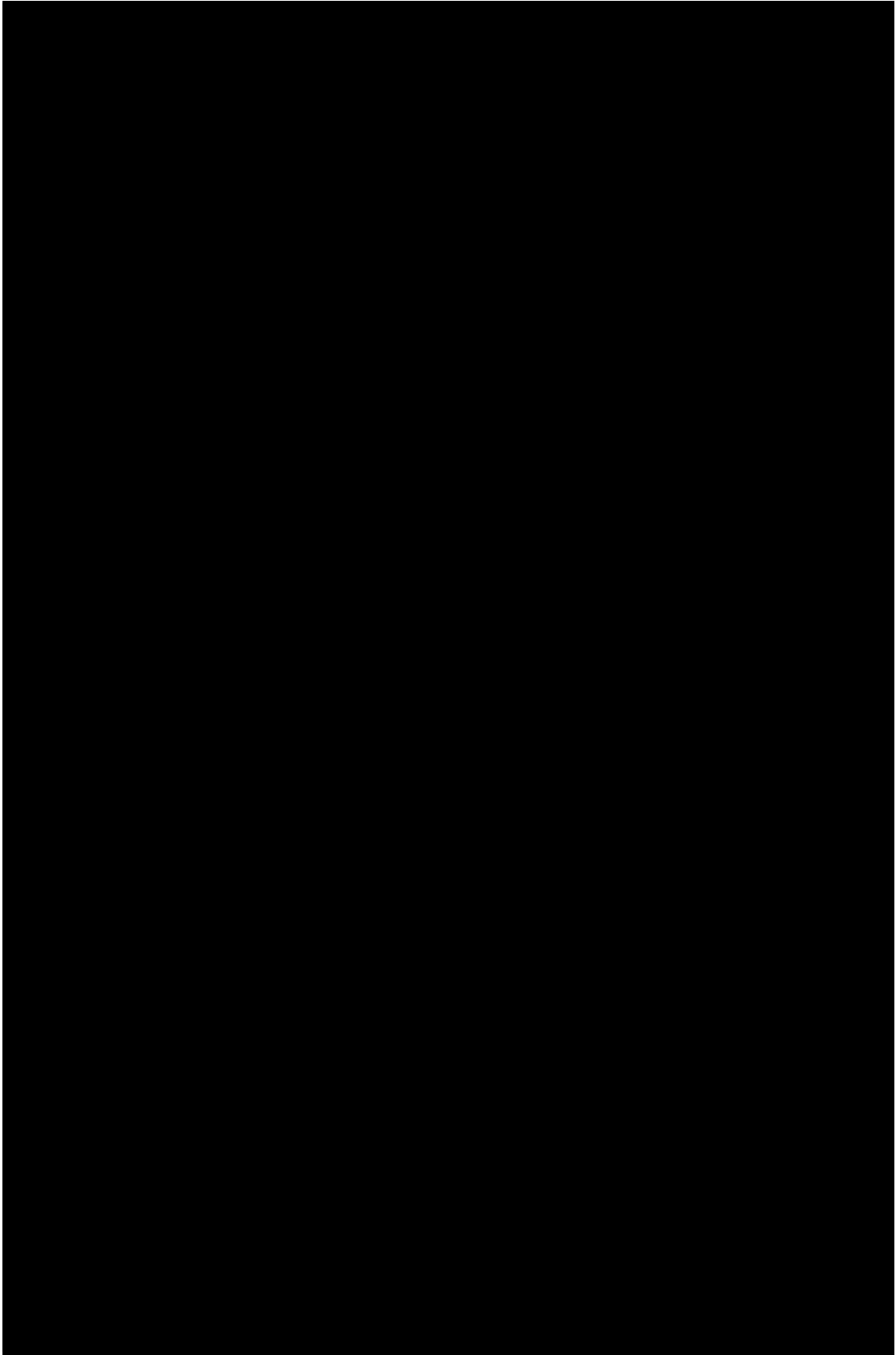


※破線は単一ユニットを表す。

第 2-10 図 臨界解析モデル図 (断面・状態①～③)

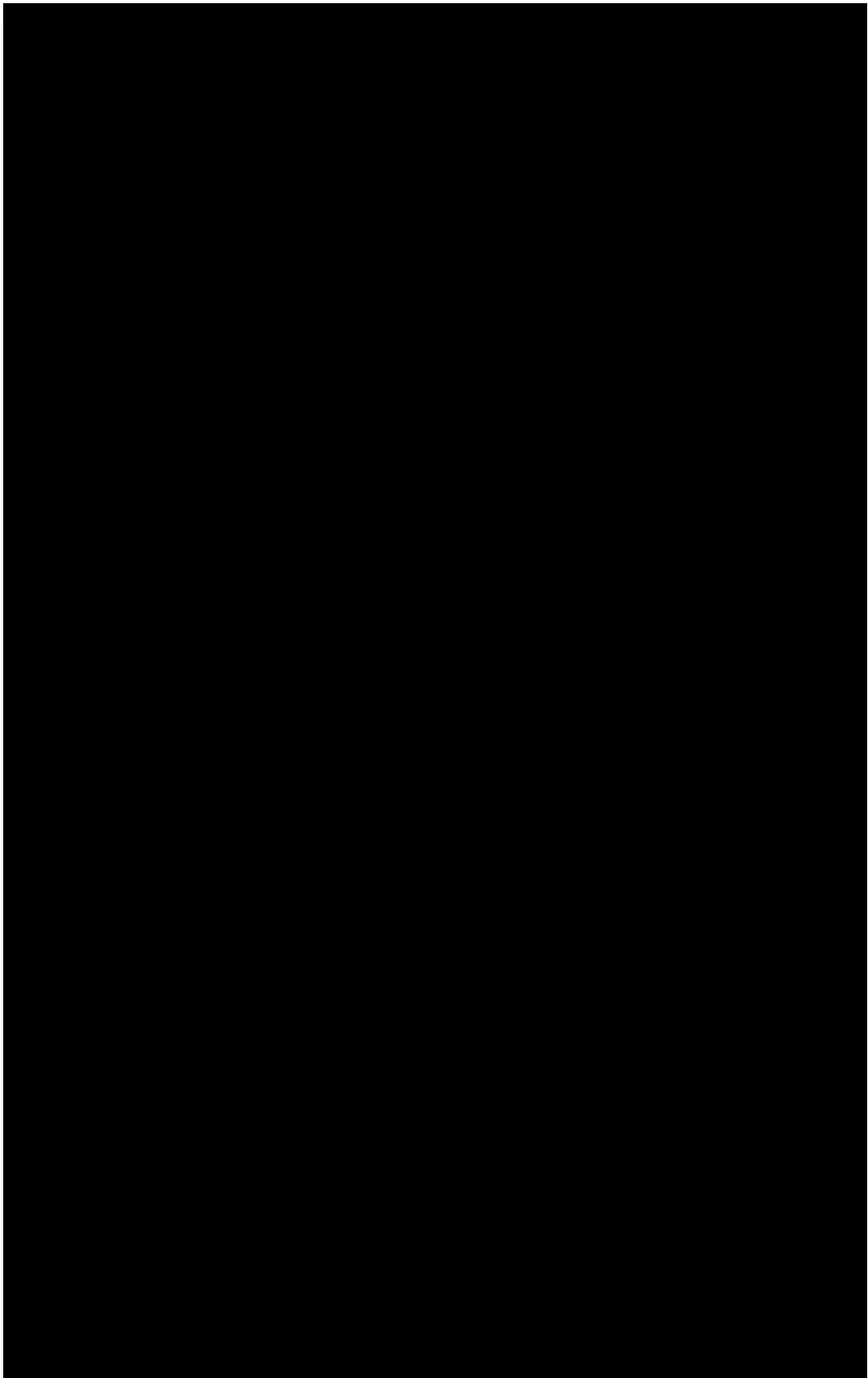
■ について商業機密上の観点から公開できません。

-  SUS304L
-  ポリエチレン
-  ガドミウム
-  燃料領域
-  コンクリート
-  真空



第 2.-11 図 環状形槽の臨界解析モデル図 (単一ユニット、状態①～状態③)

■ について商業機密上の観点から公開できません。



第 2. - 12 図 環状形槽の臨界解析モデル図 (単一ユニット、状態④)

■について商業機密上の観点から公開できません。

2.4.2.3 臨界計算結果

臨界計算結果を第 2-13 図に示す。また、実効増倍率へ影響を与える現象とその影響を第 2-15 表に示す。

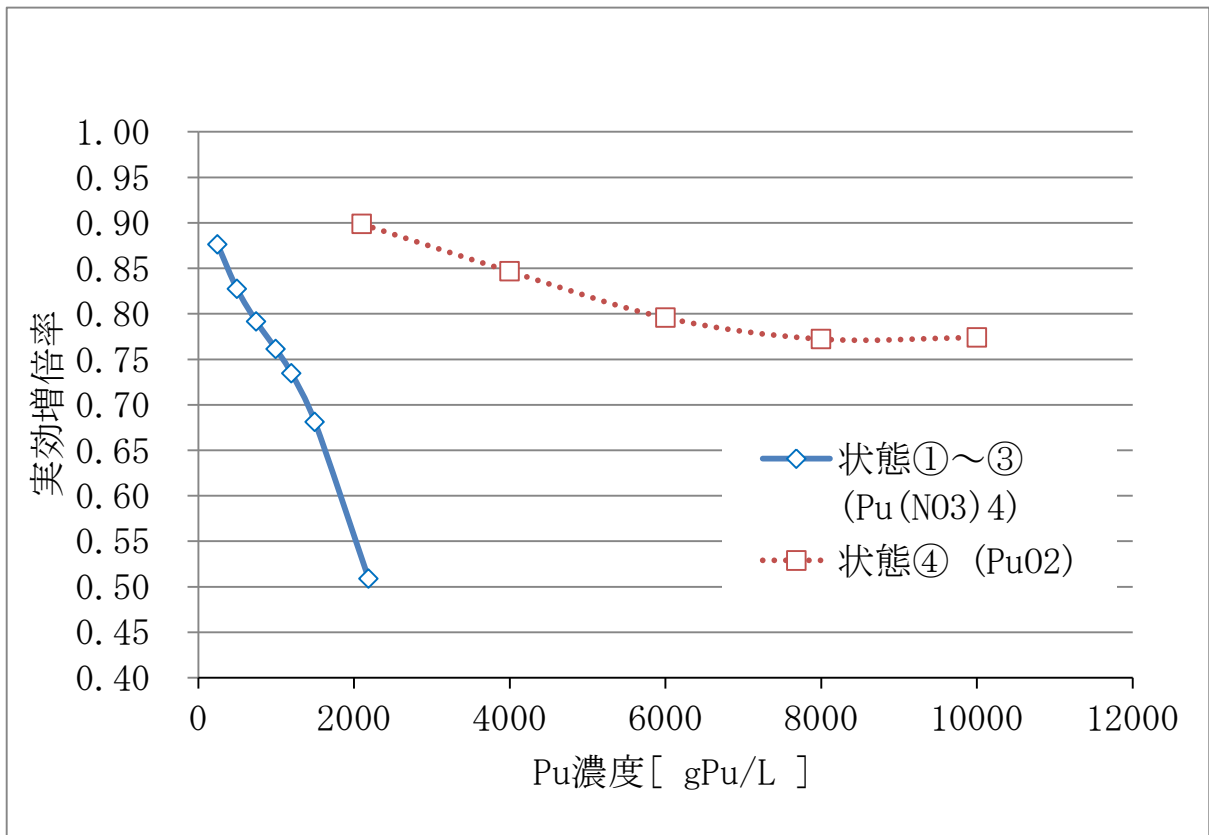
状態①～状態③においては、中性子吸収材等が健全であり、脱硝反応も発生していないことから、蒸発による燃料領域中の水素原子の減少により実効増倍率は低下していく。

状態④においては、中性子吸収材等が溶融し、体系から喪失するとともに脱硝反応が生じることで、実効増倍率が增加するが、Pu 濃度が上昇するにつれて水素原子が減少し実効増倍率は減少する。この過程において、中性子吸収材等がなく、かつ、窒素がなくなり PuO₂となった状態（プルトニウム濃度 2100gPu/L）の場合であっても、実効増倍率は 0.95 を下回る。

以上の結果より、状態④までの範囲においては、蒸発乾固が進展した場合であっても未臨界が維持される。

第 2-15 表 実効増倍率へ影響を与える現象とその影響

現象	Pu 濃度上昇による水素原子の減少	Pu 濃度上昇による体系の縮小	中性子吸収材等の喪失	脱硝反応
現象の説明	Pu 濃度上昇により、中性子減速効果を持つ水素原子が減少することで実効増倍率が低下する。	Pu 濃度（密度）が上昇し体系が縮小することにより燃料領域の表面積が減少するため、実効増倍率が上昇する。	中性子吸収材等が喪失することで中性子吸収効果が低下する。	脱硝反応により Pu の化学形が変化することで硝酸根中の窒素原子による中性子吸収効果が低下する。
実効増倍率への影響				
状態①～③	低下	上昇	—	—
状態④	低下	上昇	上昇	上昇

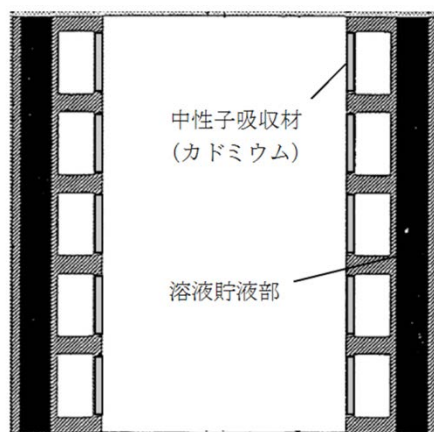


第 2. - 13 図 精製建屋の環状形槽における臨界計算結果

2.4.3 蒸発乾固の進展に伴うプルトニウム濃縮液の未臨界性の整理（ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋）

2.4.3.1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の機器の特徴

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋のプルトニウム濃縮液を内包する機器の構造は、第2-14図に示す環状形槽であり、全濃度安全形状寸法管理及び中性子吸収材管理により未臨界を確保しており、中性子吸収材としてカドミウムを用いるが、ポリエチレンは使用していない。内包する溶液のプルトニウムは、硝酸プルトニウムとして存在（化学形： $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ ）し、プルトニウム濃度は～約 250 g Pu/L である。遊離硝酸の濃度は～約 7 mol/L である。また、混合槽においては、硝酸ウラニルと共存している。



第2-14図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の環状形槽の断面図

2.4.3.2 臨界計算モデルの設定

臨界計算モデルを第 2-15 図に示す。また、臨界計算モデルにおいて設定した数値とその根拠を第 2-16 表に示すとともに、臨界計算上のプルトニウムの性状、中性子吸収材等に係る設定値とその根拠を第 2-17 表に示す。

臨界計算モデルの設定においては、可能な限り実現象と整合した計算結果を得られるよう、現実的な条件を設定するが、現象の不確実性を考慮して、パラメータに幅を持たせて計算を行う。

第 2.-16 表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋におけるプルトニウム濃縮液を内包する環状形槽の
計算モデルの設定値等とその根拠

項目	設定値	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕															
配置	単一ユニット（1貯槽）	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において Pu 濃縮液を内包する環状形槽は 4 貯槽存在し、1セル毎に 1 貯槽ずつ配置されていることから現実的な条件として設定。	—	—															
燃料領域の高さ	<ul style="list-style-type: none"> ・状態①～状態③ 250gPu/L において ■■■■mm とし、Pu 濃度に応じて Pu 質量が保存されるよう設定 ・状態④ 250gPu/L において ■■■■mm とし、Pu 濃度に応じて Pu 質量が保存されるよう設定 	<ul style="list-style-type: none"> ・状態①～状態③ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で Pu 濃縮液を内包する環状形槽の公称液位を基に設定 ・状態④ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で Pu 濃縮液を内包する環状形槽の公称寸法を基に設定 	冷却機能喪失時に貯槽内の液高さが設定値以下である場合、実効増倍率は低下する。	<p>ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で Pu 濃縮液を内包する環状形槽の公称液位・公称寸法は以下のとおりであり、計算モデルはこれらを包絡している。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>公称液位(mm)</th> <th>公称寸法(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>硝酸プルトニウム貯槽</td> <td>■■■■</td> <td>■■■■</td> </tr> <tr> <td>混合槽 A</td> <td>■■■■</td> <td>■■■■</td> </tr> <tr> <td>混合槽 B</td> <td>■■■■</td> <td>■■■■</td> </tr> <tr> <td>一時貯槽</td> <td>■■■■</td> <td>■■■■</td> </tr> </tbody> </table>	機器	公称液位(mm)	公称寸法(mm)	硝酸プルトニウム貯槽	■■■■	■■■■	混合槽 A	■■■■	■■■■	混合槽 B	■■■■	■■■■	一時貯槽	■■■■	■■■■
機器	公称液位(mm)	公称寸法(mm)																	
硝酸プルトニウム貯槽	■■■■	■■■■																	
混合槽 A	■■■■	■■■■																	
混合槽 B	■■■■	■■■■																	
一時貯槽	■■■■	■■■■																	
水平・垂直方向境界条件	全方向 30cm 水反射 水平方向鏡面反射	貯槽容器壁外側に設置される冷却ジャケット中の冷却水等の反射効果を考慮し設定。	—	蒸発乾固の事象進展に伴い冷却ジャケット中の冷却水が蒸発に至った場合には、水反射効果は低下する。															
計算コード	JACS コードシステム	—	—	—															

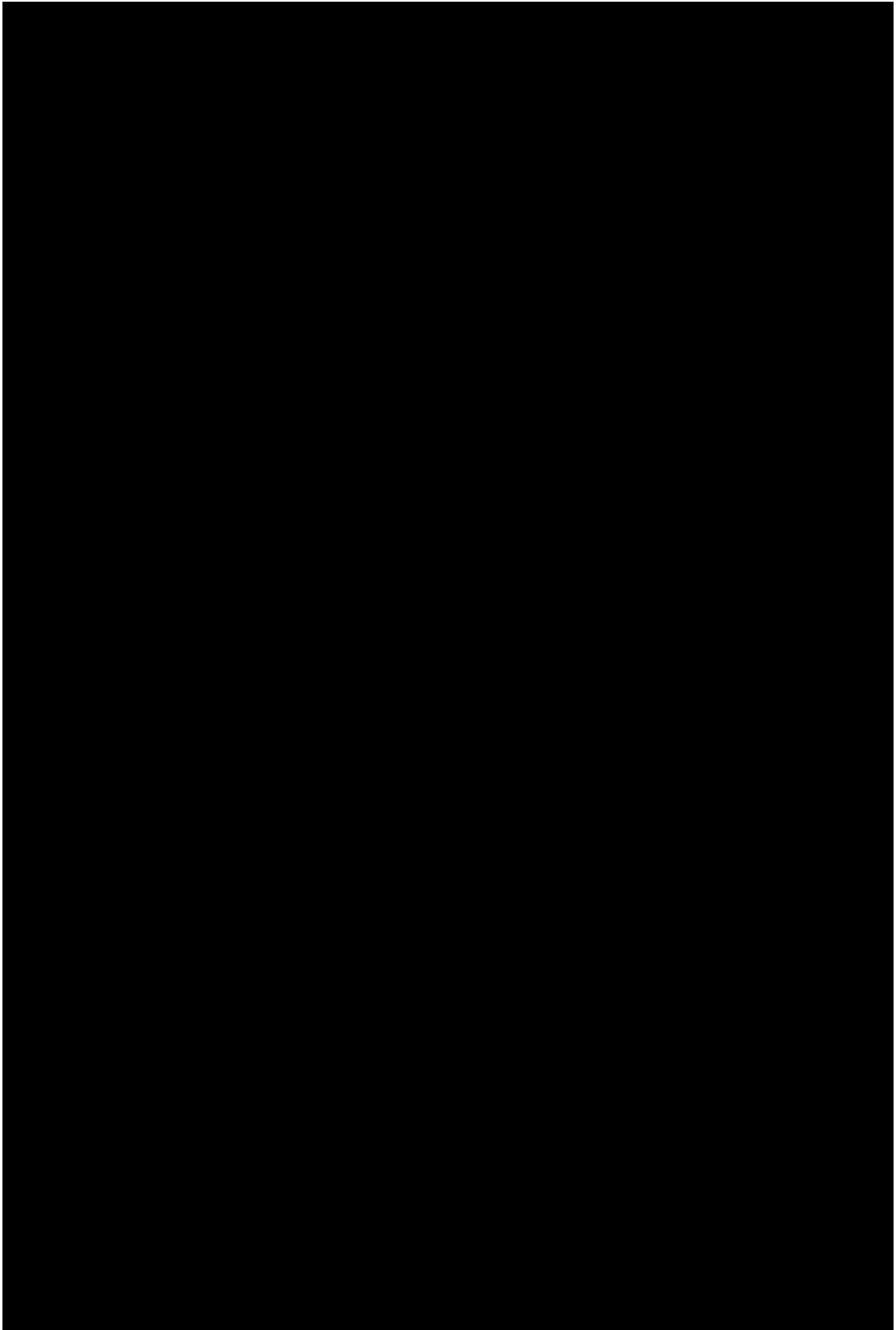
■■■■ について商業機密上の観点から公開できません。

項目	設定値	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
	又は SCALE コードシステム			

第2-17表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋のプルトニウム濃縮液を内包する環状形槽の
 臨界計算モデルにおけるプルトニウムの性状、中性子吸収材等の設定値等とその根拠

項目	状態①～状態③ (第1表と対応)	状態④ (第1表と対応)	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
Puの化学形	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{PuO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	水分が喪失した状態になった場合、急激に温度が上昇することにより脱硝反応が生じ、Puの化学形が変化することで窒素原子による中性子吸収効果が低下する。	状態④では硝酸Puと PuO_2 が混在した状況も想定される。	状態④では硝酸Puと PuO_2 が混在した状況も想定されるが、より厳しい結果を与えるよう PuO_2 とする。
Pu濃度	250gPu/L～ 2190gPu/L (硝酸Puの理論密度に相当)	2100gPu/L ($\text{PuO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ においてH/Pu=10に相当するPu濃度)～ 10000gPu/L (PuO_2 の理論密度に相当するPu濃度)	状態に応じてとりうるPu濃度を考慮した上で設定。	状態④は水分が喪失した状態であり、脱硝反応によるPu濃度の更なる上昇は考え難い。	脱硝反応によるPu濃度の更なる上昇は考え難いが、脱硝体の不確実性を包絡できるよう、状態④の評価においては、H/Pu=10に相当するPu濃度から PuO_2 理論密度に相当するPu濃度までを評価の対象とする。
Pu同位体組成	Pu-239：71wt% Pu-240：17wt% Pu-241：12wt%	Pu-239：71wt% Pu-240：17wt% Pu-241：12wt%	臨界安全管理として実施する同位体組成管理の条件を基に設定	—	非核分裂性物質であるPu-238、Pu-242を零とする。

項目	状態①～状態③ (第1表と対応)	状態④ (第1表と対応)	条件設定の根拠	設定の不確かさ	実際の条件に対する余裕
遊離硝酸	0 N	0 N	より厳しい結果を与えるよう、遊離硝酸は考慮しない。	脱硝反応開始前の貯槽内の遊離硝酸の濃度は～約7 mol/Lであり、状態②において徐々に上昇、状態③において徐々に低下する。	脱硝反応開始前の貯槽内の遊離硝酸の濃度は～約7 mol/Lであり、遊離硝酸が存在する状態①～③においては、硝酸根中の窒素原子による中性子吸収効果が期待できるが、より厳しい結果を与えるよう、遊離硝酸は考慮しない。
中性子吸収材等の有無	Cd : 有り	Cd : 無し	状態④は水分が喪失した状態であり、急激に温度が上昇することにより中性子吸収材等が熔融し、喪失した設定とする。	—	状態④においては中性子吸収材であるCdは喪失していないが、より厳しい結果を与えるよう中性子吸収材を考慮していない。



第 2. -15 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋におけるプルトニウム濃縮液を内包する環状形槽の解析モデル図

■について商業機密上の観点から公開できません。

2.4.3.3 臨界計算結果

臨界計算の結果を第 2-16 図に示す。また、実効増倍率へ影響を与える現象とその影響を第 2-18 表に示す。

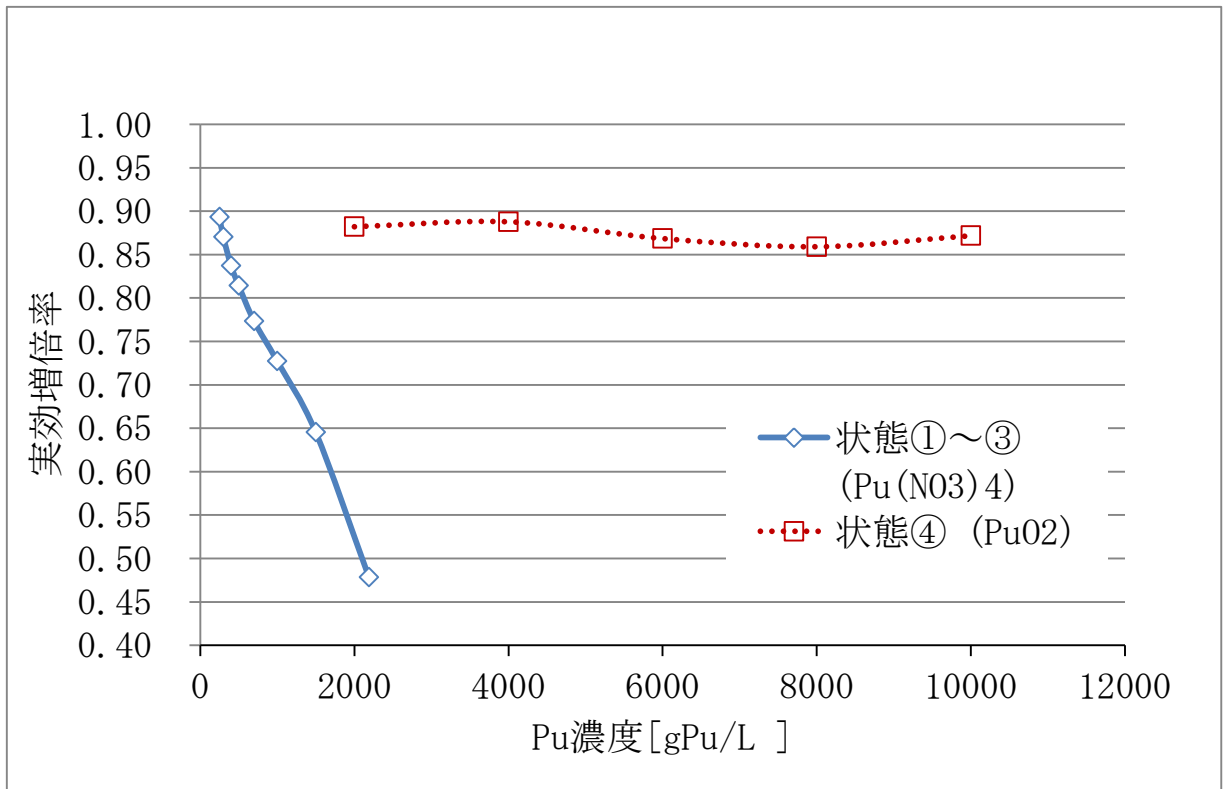
状態①～状態③においては、中性子吸収材等が健全であり、脱硝反応も発生していないことから、蒸発による燃料領域中の水素原子の減少により実効増倍率は低下していく。

状態④においては、中性子吸収材等が溶融し、体系から喪失するとともに脱硝反応が生じることで、実効増倍率が増加するが、Pu 濃度が上昇しても実効増倍率はあまり変化せず、いずれの濃度においても実効増倍率は 0.95 を下回る。

以上の結果より、状態④までの範囲においては、蒸発乾固が進展した場合であっても未臨界が維持される。

第 2-18 表 実効増倍率へ影響を与える現象とその影響

現象	Pu 濃度上昇による水素原子の減少	Pu 濃度上昇による体系の縮小	中性子吸収材等の喪失	脱硝反応
現象の説明	Pu 濃度上昇により、中性子減速効果を持つ水素原子が減少することで実効増倍率が低下する。	Pu 濃度（密度）が上昇し体系が縮小することにより燃料領域の表面積が減少するため、実効増倍率が上昇する。	中性子吸収材等が喪失することで中性子吸収効果が低下する。	脱硝反応により Pu の化学形が変化することで硝酸根中の窒素原子による中性子吸収効果が低下する。
実効増倍率への影響				
状態①～③	低下	上昇	—	—
状態④	低下	上昇	上昇	上昇



第 2. - 16 図 蒸発乾固時の臨界計算結果

2.4.4 本臨界評価に用いた条件の許認可上の扱い

2.4.4.1 設計基準における評価条件に対する本評価に用いた評価条件の相違点

設計基準に対する本評価に用いた評価条件の相違点として、精製建屋の環状形槽に対する比較を第2-19表に示す。臨界計算モデルの設定においては、実現象と整合した計算結果を得られるよう、設計基準における臨界安全設計に比べ現実的な条件を設定した。

第2-19表 設計基準に対する本評価に用いた評価条件の相違点（精製建屋）

項目	設計基準上の解析	本解析
燃料領域の高さ（液位）	無限長	250gPu/Lにおいて■■■■mmとし、Pu濃度に応じてPu質量が保存されるよう設定
貯槽間距離	0mm	■■■■mm
境界条件	鏡面反射	コンクリート反射 貯槽-コンクリート間距離：0mm
Puの化学形	Pu(NO ₃) ₄ ·H ₂ O	Pu(NO ₃) ₄ ·H ₂ O 又は PuO ₂ ·H ₂ O
中性子吸収材等	健全	健全又は喪失

本評価において、設計基準上の解析条件よりも現実的な条件としている項目は以下の2項目である。

- ① 貯槽間距離：■■■■mm 以上
- ② 貯槽液位：■■■■mm 以下

■■■■について商業機密上の観点から公開できません。

2.4.4.2 貯槽間距離の設定について

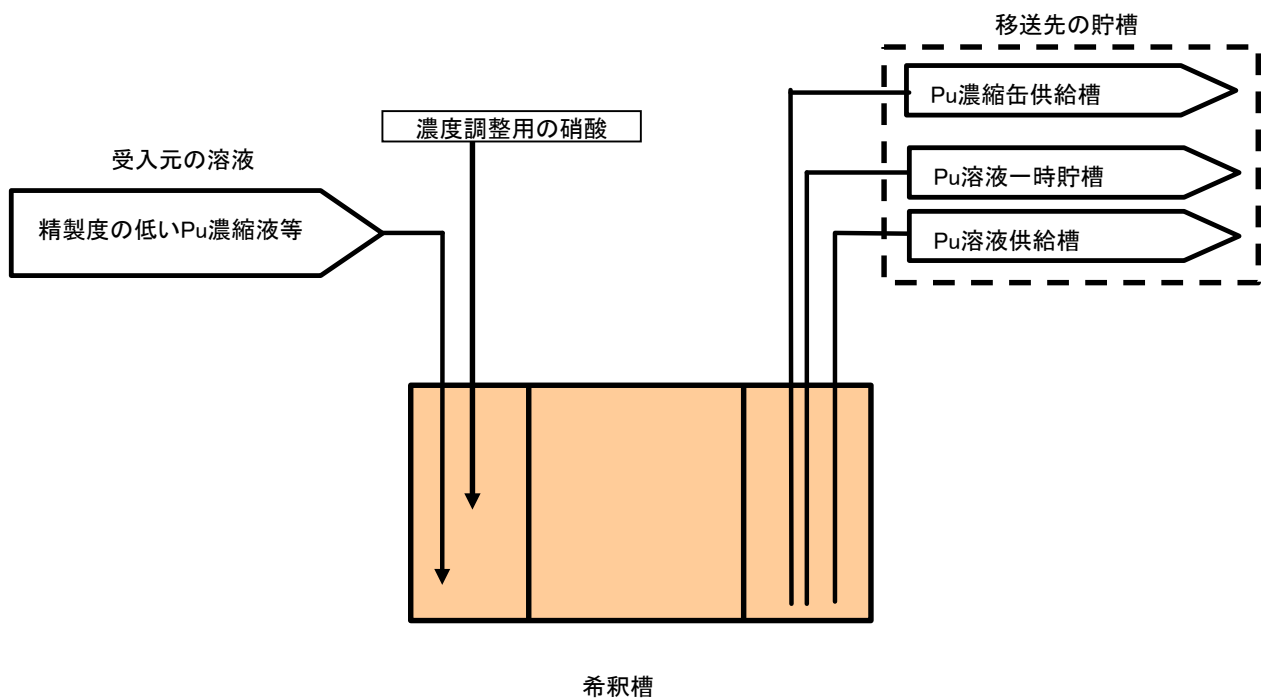
検討対象とした貯槽については、設置段階において計画通りに適切に据え付けられていることを確認しているとともに、使用前検査においても確認されている。

また、貯槽の据付状態は変化するものではなく、今後においても貯槽間距離は維持される。さらに、本評価においては実際の貯槽間距離に余裕をもって解析条件を設定している。

以上より、今回の評価において前提とした条件は特段の措置を要せずに、現実的な条件として見込めるものとする。

2.4.4.3 貯槽液位について

希釈槽は第2. -17図に示すように、Pu濃縮工程よりも上流の工程に溶液を移送する際にPu濃度を調整する目的で設置されており、希釈槽から他の貯槽に移送する場合は移送する溶液中のPu濃度が24gPu/L以下となるよう管理されていることから、希釈槽が液高さ \blacksquare mmに相当する液量のPu濃縮液を保有することは不可能である。

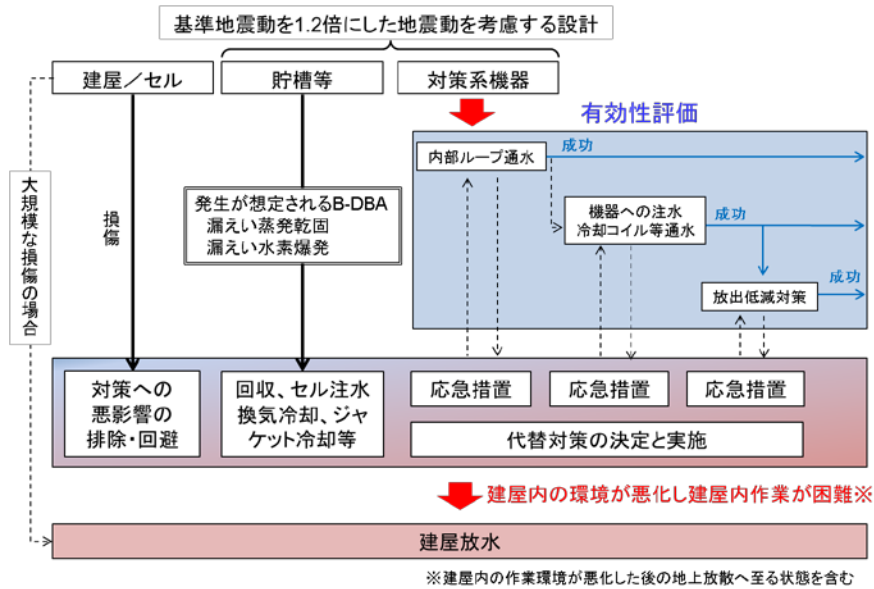


第2. -17図 希釈槽と移送先貯槽の系統概念図

\blacksquare について商業機密上の観点から公開できません。

3. 乾燥・固化後の状態への対処と評価

事象進展が比較的早いP u濃縮液（250 g P u / L）及び高レベル濃縮廃液に対しては，乾燥・固化後の状態に対して，本状態に至ることを防止又は至った場合の緩和措置を講ずる。対処の概要図を第 3. - 1 図に示す。



第 3. - 1 図 対処の概要図

乾燥・固化後の状態では，P u濃縮液（250 g P u / L）は固体化しており，崩壊熱により乾固物の温度が上昇する。乾固物の熱物性は不確実な点が多く，乾固物の温度上昇挙動を明確に推定することは困難であるが，想定しうる熱物性条件下において貯槽の材料であるステンレス鋼の融点を超える状態に至る可能性がある。

また，乾燥・固化後の状態では，高レベル濃縮廃液は固体化しており，崩壊熱により乾固物の温度が上昇する。乾固物の熱物性は不確実な点が多く，乾固物の温度上昇挙動を明確に推定することは困難であるが，想定しうる熱物性条件下において貯槽の材料であるステンレス鋼の融点を超える状態に至る可能性がある。貯槽損傷に至る可能性については，貯槽周りの放熱環境に因るところも大きく，必ずしも貯槽損傷まで進展すると言い切れるものではないが，貯槽の健全性が維持された場合であっても，貯槽内

に保持されている乾固物の温度が上昇し、乾固物中の比較的融点が高い酸化セシウムの揮発及び他核種のさらなる放出の可能性が想定される。

3.1 乾固物の温度上昇挙動

温度評価において不確かさが内在する物性値は、密度、比熱及び熱伝導率の3点である。

これらの物性値に対する既往の知見は少ないが、これら知見を包含する条件を設定し、高レベル廃液ガラス固化建屋の高レベル濃縮廃液貯槽（120m³）を対象に温度評価を実施する。第3. - 1表に既往の知見を示す。

第3. - 1表 既往の知見

密度	2060 kg / m ³ ⁽¹⁾ ~ 4800 kg / m ³ ⁽²⁾
比熱	300 J / kg K ⁽³⁾ ~ 897 J / kg K ⁽²⁾
熱伝導率	0.17W / mK ⁽²⁾ ~ 10W / mK ⁽³⁾

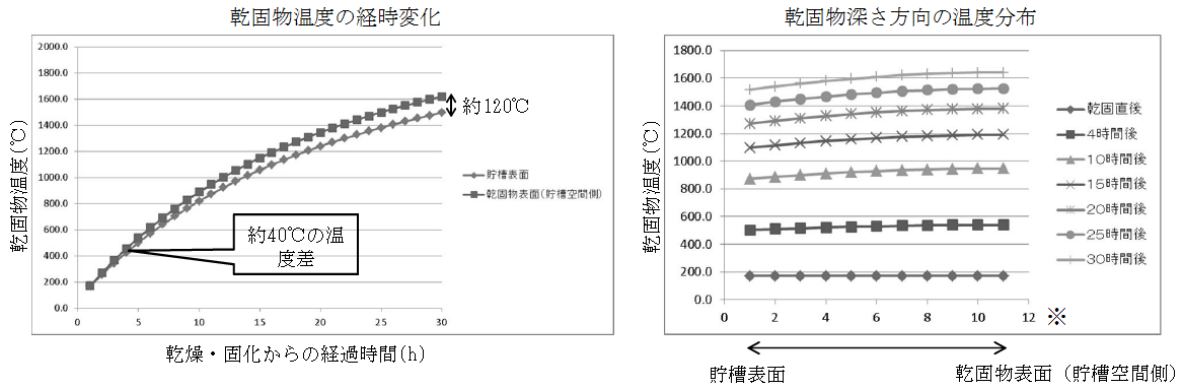
(1) 評価1

乾固物の温度を高め評価する目的で第3. - 2表に示す評価条件を設定する。

乾固物の熱伝導率の低さから、貯槽表面位置（放熱部）と乾固物表面（評価上断熱）部に温度差が生じるものの、貯槽表面位置が1500℃に達する時点で貯槽表面位置（放熱部）と乾固物表面（評価上断熱）部の温度差は約120℃となる。Csの揮発が開始されると考えられる乾燥・固化から4時間経過後の貯槽表面位置（放熱部）と乾固物表面（評価上断熱）部の温度差は約40℃となる。評価結果を第3. - 4図に示す。

第 3. - 2 表 評価条件 (評価 1)

密度	2000 k g / m ³
比熱	300 J / k g K
熱伝導率	0.15W / m K



※乾固物を深さ方向に差分近似した際の節点番号を示す。

第 3. - 2 図 乾固物温度の経時変化と温度分布 (評価 1)

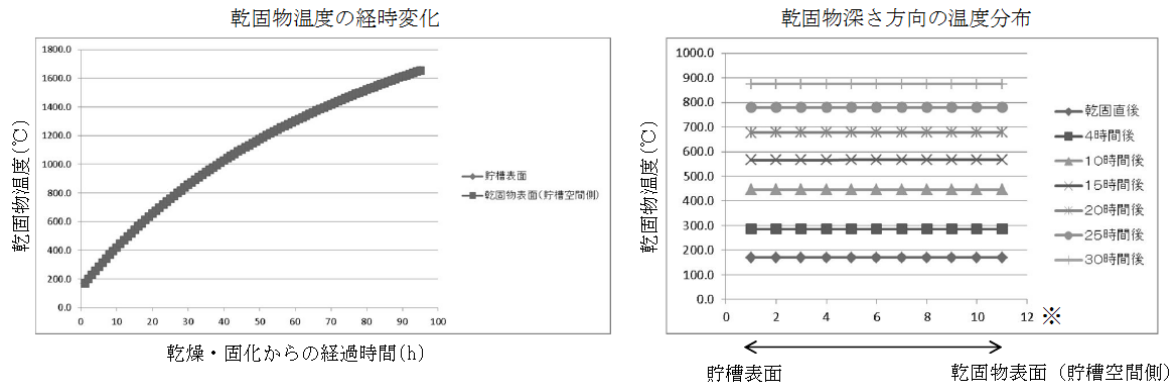
(2) 評価 2

乾固物の温度上昇を緩やかに評価する目的として評価条件を設定する。評価条件を第 3 表に示す。

熱伝導率及び密度が高いため、貯槽表面位置 (放熱部) と乾固物表面 (評価上断熱) 部に有意な温度差は生じない。また、評価 1 に対して熱容量が大きいため、温度上昇速度が緩やかである。評価結果を第 3. - 5 図に示す。

第 3. - 3 表 評価条件 (評価 2)

密度	5000 k g / m ³
比熱	1000 J / k g K
熱伝導率	10W / m K



※乾固物を深さ方向に差分近似した際の節点番号を示す。

第3. - 3 図 乾固物温度の経時変化と温度分布（評価2）

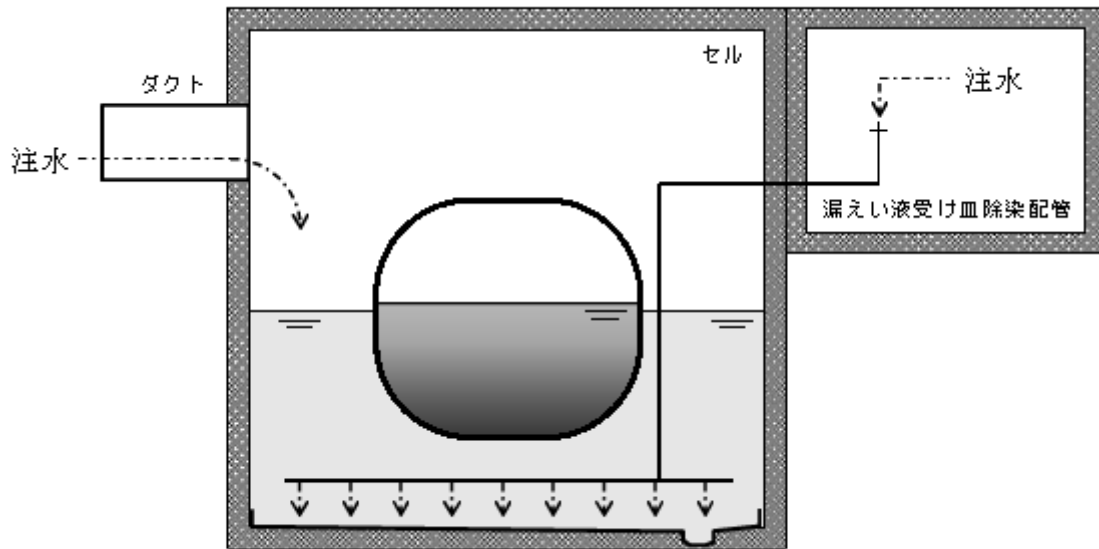
(3) 温度評価における考察

熱物性のうち、熱容量に係る不確実さから、乾固物の温度上昇挙動にばらつきがあるものの、乾固物の温度は確実に上昇することが想定され、冷却機能喪失から約 216 時間から 264 時間後（乾燥・固化から約 30 時間から 78 時間後）に貯槽温度が 1500°C に到達する可能性がある。また、乾固物の熱伝導率の不確実さから乾固物内に温度分布が生じる可能性があるものの、その温度差は約 40°C 程度と想定され、C s の揮発という観点からは大きな影響を与えるものではないと推定される。ここで、熱伝導率の乾固物内の温度分布に与える影響が限定されているのは、乾固物自体が発熱体であることに因る。

3.2 セル冠水による貯槽冷却の概要

内部ループ通水並びに貯水槽から機器への注水及び冷却コイル等通水が機能しない場合、高レベル濃縮廃液を内包する貯槽については、セルに接続しているダクトや漏えい液受け皿除染配管からセル内へ注水を行いセ

ルを冠水させ、貯槽を直接冷却する。セル冠水の概要図を第 3. - 4 図に示す。



第 3. - 4 図 セル冠水の概要図

3.3 Cs の揮発に対する対応

乾固物中の Cs は酸化セシウムの化学形態であると考えられ、その融点は 500℃程度であり、揮発することで気相部へ移行する。また、この温度帯では、乾固物の脱硝反応が継続している状態ではあるものの、脱硝反応が終息に向かっている状況である⁴⁾。こうした特長から、Cs が大規模に揮発する状態に対しては、換気を停止し、できるだけ建屋内に滞留させることで、Cs を固体化させ建屋内に沈降させることが有効であり、建屋から漏れ出る放射性物質に対しては建屋放水による放出抑制を講ずる。本対応により大気中への放射性物質の放出を抑制することができる。

4. 事業指定基準規則第 40 条対応準備への移行判断

貯水槽から機器への注水が機能していないことが確認された場合は、事業指定基準規則第 40 条への対応の準備に着手する。

5. 準備完了までの目安となる時間

事業指定基準規則第 40 条対応は、乾燥・固化以降の進行を緩和することを目的として実施するため、乾固に至るまでの時間が準備完了までの目安となる。Pu 濃縮液 (250 g Pu / L) の場合、断熱評価で冷却機能の喪失から約 59 時間 (2.5 日) となる。高レベル濃縮廃液の場合、断熱評価で冷却機能の喪失から約 186 時間 (7.7 日) となる。

6. 参考文献

- 1) 弊社の試験結果
- 2) 平成 29 年度原子力規制庁委託成果報告書「再処理施設内での放射性物質の移行挙動に係る試験等」
- 3) UO₂の物性値 (伝熱工学資料 第 4 版)
- 4) 天野ら, 「高レベル濃縮廃液中硝酸塩の熱分解に伴う窒素酸化物発生挙動」 日本原子力学会誌 (2015)

事故事例調査

1. 国内外で発生した爆発事故調査

六ヶ所再処理施設における爆発の発生の可能性を考察するために、国内外で発生した爆発事故の事例を調査した。

- ✓ サバンナ・リバー・サイト 蒸発缶爆発事故（1953年）
- ✓ オークリッジ国立研究所 ジルコニウム粉末屑入りドラム缶の爆発（1956年）
- ✓ ウラル核惨事（1957年）
- ✓ オークリッジ国立研究所 蒸発缶爆発事故（1959年）
- ✓ ウィンズケール 有機溶媒の槽内火災（1973年）
- ✓ サバンナ・リバー・サイト 可燃性ガス爆発事故（1975年）
- ✓ ハンフォード・サイト 化学爆発事故（1976年）
- ✓ トムスク爆発事故（1993年）
- ✓ 旧動燃 アスファルト爆発事故（1997年）
- ✓ ハンフォード・サイト 試薬貯槽爆発事故（1997年）
- ✓ 国内化学工場での無水フタル酸の爆発（1966年）

六ヶ所再処理施設においては、プロセスの違いや爆発に寄与する物質の使用の観点から、報告されているような爆発は発生しないが

- 硝酸/硝酸塩と有機物が混在している状態で、かつ、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合
- 硝酸ヒドロキシルアミンが存在している状態で、かつ、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸ヒドロキシルアミンが濃縮する場合

においては、爆発の可能性は否定できない。

2. 国内外で発生した爆発事故調査の詳細

2.1 サバンナ・リバー・サイト 蒸発缶爆発事故（1953年）

<事故概要>

硝酸ウラニル溶液の蒸発濃縮中に蒸発缶が爆発した。

<原因>

回分式蒸発缶の供給液に有機溶媒（TBP、ケロシン）が多量（約80ポンド）に混入されていたことに加えて、過濃縮により溶液の温度が高温になり、TBP-硝酸ウラン錯体の急激な熱分解反応が起こったと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においても有機溶媒を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合には、爆発の可能性は否定できない。

[1] T. J. Colven et al., TNX Evaporator Incident January. 12, 1953, Interim Technical Report, DP-25, 1953.

[2] W. S. Durant, "RED OIL" EXPLOSIONS AT THE SAVANNAH RIVER PLANT. DP-MS-83-142, DOE/ANL training course on prevention of significant nuclear events; Augusta, GA (USA); 12-15 Mar 1984.

2.2 オークリッジ国立研究所 ジルコニウム粉末屑入りドラム缶の爆発 (1956年)

<事故概要>

ジルコニウム粉末屑が入ったドラム缶が爆発した。

<原因>

オークリッジ国立研究所では、ジルコニウム金属はドラム缶に入れた上で、ドラム缶を水中に保管していたが、このドラム缶が腐食したため内部に水が入り、接触により激しく反応したと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設では、ジルコニウム合金を材料とする燃料被覆管せん断片（ハル）は硝酸で溶解せず、ハル・エンドピースドラムに詰めて水中保管している。

せん断時に発生するジルコニウム粉末は、不溶解残渣として清澄機で分離し、不溶解残渣廃液として高レベル廃液処理設備へ移送される。冷却機能喪失により蒸発乾固に至る場合であっても、粉体状態にはならないことから、本事例のような爆発事故は発生しないと考えられる。

[1] 大西他, 「原子力施設の事故〔調査報告〕」, JAERI-4052, p. 81(1970).

2.3 ウラル核惨事（1957年）

<事故概要>

廃液中に硝酸ナトリウム及びアセテート塩（硝酸アセテート）が残存し、加熱によって発熱反応の酸化還元を起こして爆発に至った。

<原因>

抽出にウラニル酢酸塩沈殿法を用いていることから、廃液中に酢酸ナトリウムが残存することになる。

一方、貯蔵タンクは、各タンクの周囲に空間があって、この部分に冷却水を満たすことで冷却をしていた。冷却水は時々変えるだけであった。

放射性液体の移送配管に漏えいが発生したため、タンクまわりの冷却水が汚染し、この冷却水を排出したが、交換はしなかった。これは、誤った評価により、冷却不要と判断したことによる。

上記の結果、タンク内が加熱され、大部分の水分が蒸発し、爆発性の硝酸ナトリウム及び酢酸ナトリウムが残存。この残存物の温度が350℃程度に達し、化学爆発を起こしたと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においては、酢酸ナトリウムを使用していないことから、本事例のような爆発事故は発生しないと考えられるが、有機物を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合においては、爆発の可能性は否定できない。

[1] IAEA, "Report on a radiological accident in the southern Urals on 29 September 1957", IAEA-INF/CIRC/368, 28 July 1989.

[2] Jim Thomson, "The Mayak Plant, Chelyabinsk - a brief historical review" Nuclear Future Volume 12 issue 2.

2.4 オークリッジ国立研究所 蒸発缶爆発事故（1959年）

<事故概要>

除染剤により蒸発缶を除染し、遠隔操作にて排出した後、硝酸を蒸発缶に移送して加熱したところ、爆発した。

<原因>

遠隔操作では蒸発缶から完全に除染液を抜き出すことができない設計となっていたため、蒸発缶内に約15リットルのヒールが残った。また、この除染剤中にフェノールが存在していたことから、濃縮された硝酸と急激に反応を起こしたものと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においては、フェノールを使用していないことから、本事例のような爆発事故は発生しないと考えられるが、有機物を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合においては、爆発の可能性は否定できない。

[1] IAEA. Significant incidents in nuclear fuel cycle facilities, 1996. IAEA-TECDOC-867.

2.5 ウィンズケール 有機溶媒の槽内火災（1973年）

<事故概要>

有機溶媒を移送した際に貯槽内で火災が発生した。

<原因>

当該貯槽を、不溶解残渣（ジルコニウム粉末）等を含む廃液の処理に使用した後に洗浄を行わなかったため、貯槽底部に高温の固体沈殿物

（ ^{106}Ru を含む核分裂生成物及びジルコニウム粉末）溜まった。その後、抽出塔から有機溶媒が流れ込んで発火したものと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においては、せん断時に発生するジルコニウム粉末は、不溶解残渣として清澄機で分離し、不溶解残渣廃液として高レベル廃液処理設備へ移送される。

不溶解残渣を含む貯槽に有機溶媒を直接移送することはなく、溶液として移送することから、本事例のような発火による火災は発生しないと考えられる。

[1] UKDOE, Report by the Chief Inspector of Nuclear Installation on the Incident in Building B204 at the Windscale Works of British Nuclear Fuel Limited on 26 September 1973, CMND-5703(1974).

2.6 サバンナ・リバー・サイト 可燃性ガス爆発事故（1975年）

<事故概要>

脱硝器での硝酸ウラニル溶液の加熱脱硝中に、室内の可燃性ガスに引火して爆発した。

<原因>

多量の有機溶媒が蒸発缶に混入したことで、硝酸ウラニルが TBP の錯体の状態で脱硝器に供給されたことが原因と推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においても有機溶媒を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合には、爆発の可能性は否定できない。

[1] McKibben, J. M. et, Explosion and fire in the uranium trioxide production facilities at the Savannah River Plant on February 12, 1975.

2.7 ハンフォード・サイト 化学爆発事故（1976年）

<事故概要>

アメリシウムを回収する陽イオン交換樹脂カラムが爆発した。

<原因>

イオン交換樹脂にアメリシウムが蓄積した状態で、ストライキのため長期間放置された。この間に樹脂が劣化したため、操業を再開した日に洗浄のため濃硝酸をカラムに流通させたところ爆発が起きたものと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においては、硝酸を使用する系統においてイオン交換樹脂を使用していないことから、本事例のような爆発事故は発生しないと考えられるが、有機物を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合には、爆発の可能性は否定できない。

[1] Richland. Washington, Investigation of the chemical explosion of an ion exchange resin column and resulting americium contamination of personnel in the 242-Z building, August 30, 1976, Richland Operation Office, Oct. 1976.

2.8 トムスク爆発事故（1993年）

<事故概要>

調整タンク（抽出工程へ供給する溶液の酸濃度を調整するための貯槽）において、濃硝酸と TBP を含む有機物が接触することで発熱反応を起こし、135°C以上に上昇して、TBP の急激な分解反応が起こった。

<原因>

調整タンク内には TBP 等を含む多量の有機物（濃硝酸と反応しやすい芳香族炭化水素を含む）が存在していたが、別のタンクから TBP 等を含む有機物と一緒に加熱されたままのウラン溶液（約 105°C）が移送され、さらにその際に規則で定められている攪拌を実施しなかった。

また、規定で定められている以上の濃度の濃硝酸を調整タンクに注入し、さらにその際に規則で定められている攪拌を実施しなかった。

その結果、濃硝酸と有機物が接触した状態で層を形成し、接触面で局所的に発熱反応を起こした。

さらに、排気機能低下も重なって、発生した蒸気やガスにより調整タンク内が加圧され、溶液温度が 135°Cを超えたため、急激な分解反応に至ったと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においても有機溶媒を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合には、爆発の可能性は否定できない。

[1] “ロシアのトムスク再処理施設の事故に関する調査報告書” 科学技術庁，平成6年9月8日

2.9 旧動燃 アスファルト爆発事故（1997年）

<事故概要>

低レベルの放射能廃棄物をアスファルトに閉じこめる施設で、時間あたりの供給量を下げる実験中にアスファルト固化体の温度が上がり、放冷中に酸化反応を起こし、発火した。さらにその消火が不十分だったため、アスファルトが燻り、軽質ガスを放出し爆発に至った。

<火災の原因>

アスファルト固化体の放冷中、ドラム缶内での遅い化学反応により蓄熱が進行し、アスファルト固化体の温度が局所的に上昇、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトの反応が急激に進んだ。遅い反応の要因は、放冷開始温度が高めであったことなどによる。放冷開始温度が高くなったのは、アスファルト供給量を20%減らしたことにより、アスファルトと廃棄物を混練するエクストルーダーの特性で温度が上がった。

<爆発の原因>

消火が不十分であったためアスファルト固化体から可燃性物質が放出され、さらに火災により換気機能が停止していたため可燃性物質が充填室内と隣接室内に充満した。この状態で空気と混合し、アスファルト固化体の発火により着火した。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においては、低レベル廃液の処理方法にアスファルト固化方式を採用していないことから、本事例のような爆発事故は発生しないと考えられる。

[1] “アスファルト固化処理施設課再爆発事故の原因究明結果について

（技術報告）”，JNC TN8410 99-027，核燃料サイクル開発機構東海事業所，1999年12月。

2.10 ハンフォード・サイト 試薬貯槽爆発事故（1997年）

<事故概要>

プルトニウム回収施設で、プルトニウムの還元剤として使用する硝酸ヒドロキシルアミン（HAN）と硝酸を貯留した貯槽が爆発した。

<原因>

試薬調整後に施設を長期停止したことにより、約4年間試薬が貯留された状態のままになり、水分が蒸発して濃縮され、かつ、鉄等の触媒により化学反応が促進されて急激にガスを放出し、貯槽を爆発させたものと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設で使用している硝酸ヒドロキシルアミンは濃度が低く、かつプロセスでは分解温度(177℃)まで加熱することはないため、爆発することはないが、冷却機能を喪失し液温が上昇する場合には、爆発の可能性は否定できない。

[1] L. P. Lyoyd, Accident investigation board report on the May 14, 1997, chemical explosion at the Plutonium Reclamation Facility, Hanford Site, Richland, Washington - summary report, August 7, 1997.

2.11 国内化学工場での無水フタル酸の爆発（1966年）

<事故概要>

無水フタル酸製造装置の蒸留缶で、ナイター（熔融硝酸塩で、 KNO_3 、 NaNO_3 、 NaNO_2 等の混合物）を熱媒体として真空蒸留をした際に爆発した。

<原因>

蒸留缶の欠陥により、ナイターが缶内に漏れ、加熱状態にあることから無水フタル酸と反応したと推定される。

<検討結果>

六ヶ所再処理施設においては、無水フタル酸を使用していないことから、本事例のような爆発事故は発生しないと考えられるが、有機物を使用していることから、冷却機能を喪失し液温が上昇し水分が蒸発して硝酸/硝酸塩が濃縮する場合においては、爆発の可能性は否定できない。

[1] 失敗知識データベース

<http://www.shippai.org/fkd/cf/CC0000122.html>

蒸発乾固の過程における爆発の可能性について

1. はじめに

蒸発乾固の過程における爆発の可能性について検討を行う。

- ▶ 再処理の工程においては硝酸を使用していることから、工程内には硝酸塩が含まれる。
- ▶ 硝酸及び硝酸塩は、酸化剤として作用し得る物質であるため、有機物と混合した状態で加熱すると、激しく反応する可能性がある。

<過去の事故事例>

- ・ 溶解硝酸塩と無水フタル酸による爆発事故
 - ・ 硝酸塩とアスファルトによる発火事故
 - ・ 硝酸と TBP 混合液による爆発事故
- ▶ 冷却機能の喪失により液温が上昇し、かつ水分が蒸発することにより硝酸/硝酸塩が濃縮されると、有機物との反応の可能性が大きくなると考えられる。

TBP/DBP/MBP を対象とし、これらの工程内での特性や移行挙動を整理した。

また、これにより、爆発の発生が完全に否定できない DBP 及び MBP に関しては、DBP を代表に試験結果等により発生し難いことを示すとともに、万が一爆発に至った場合における爆発規模を評価した。

2. 再処理工程における有機物の整理

2.1 TBP について

TBP は、りん酸三ブチル (Tri-butyl phosphate) の略で、PUREX 法において硝酸溶液中のウラン、プルトニウムを溶媒抽出するために使用される抽出剤である。

ウランとプルトニウムの抽出を十分に行うことが可能なこと、放射線分解及び硝酸との反応に対して良い安定性を持つこと等を理由に、TBP を希釈剤であるノルマルドデカン（n-ドデカン）で希釈して使用する。

その割合は

- ・ TBP : 30%
- ・ n-ドデカン:70%

である。

TBP は水に可溶であるため、抽出廃液等にもわずかに溶ける。濃縮缶等で加熱すると急激な分解反応を起こす可能性があることから、加熱を行う前に n-ドデカンと接触させ TBP を除去する。

○n-ドデカンの主な供給先

- ・ TBP 洗浄塔（分離設備）（プルトニウム精製設備）
- ・ TBP 洗浄器（分離設備）（プルトニウム精製設備）
- ・ ウラン溶液 TBP 洗浄器（分配設備）（ウラン精製設備）
- ・ プルトニウム溶液 TBP 洗浄器（分配設備）
- ・ 逆抽出液 TBP 洗浄器
- ・ 抽出廃液 TBP 洗浄器

n-ドデカンにより除去しきれない TBP があつた場合には、溶液中に溶存した状態で濃縮缶等に供給されることになるが、加水分解、放射線分解や沸騰蒸気への同伴により濃縮液では有意な TBP は検出されておらず、アクティブ試験等の実績では、問題となるような急激な分解反応は発生していない。

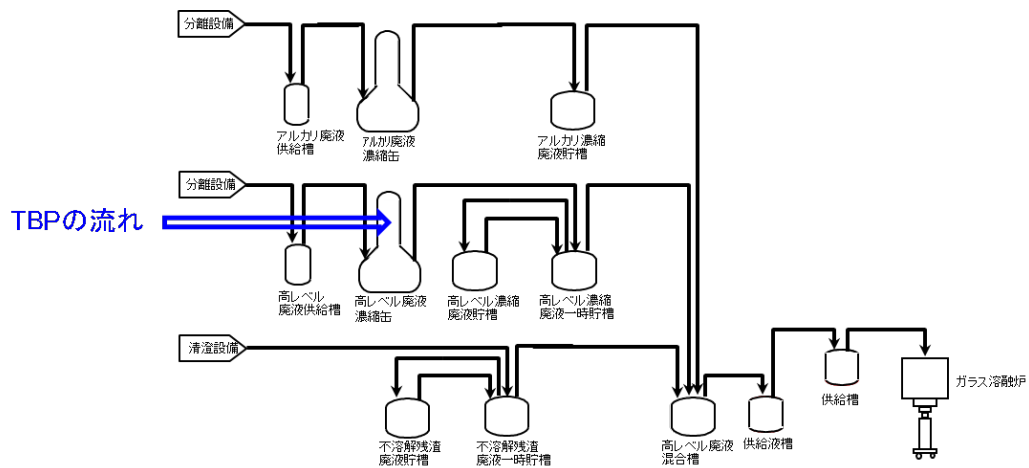
<TBP が供給される可能性がある濃縮缶等>

- ・ 高レベル廃液濃縮缶

- ・第2酸回収蒸発缶
- ・分配設備のウラン濃縮缶
- ・ウラン精製設備のウラン濃縮缶
- ・プルトニウム濃縮缶

⇒これらの濃縮缶等の下流機器において、有意な TBP はない。

第2. - 1 図に示す例のとおり、高レベル廃液濃縮缶の下流機器（高レベル濃縮廃液一時貯槽以降）では、有意な TBP はない。



第2. - 1 図 TBPの流れ

⇒高レベル濃縮廃液一時貯槽、高レベル濃縮廃液貯槽、高レベル廃液混合槽、供給液槽、供給槽は、蒸発乾固の対象機器ではあるものの、有意な TBP はない。

第2酸回収蒸発缶、分配設備のウラン濃縮缶及びウラン精製設備のウラン濃縮缶から下流には、蒸発乾固の対象機器はない。

プルトニウム濃縮缶の下流では、以下の機器が蒸発乾固の対象となるが、有意な TBP はない。

○プルトニウム精製設備

- ・プルトニウム濃縮液受槽
- ・プルトニウム濃縮液一時受槽
- ・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
- ・リサイクル槽
- ・希釈槽

○ウラン・プルトニウム混合脱硝設備

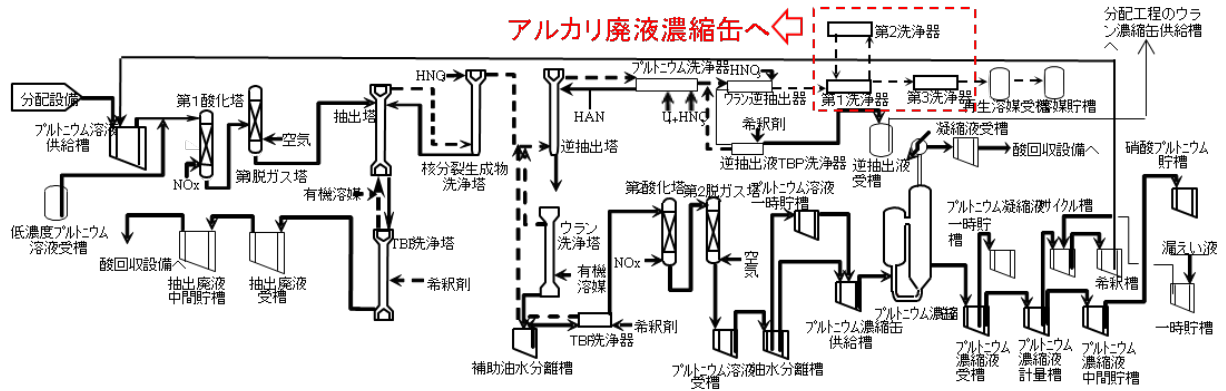
- ・硝酸プルトニウム貯槽
- ・混合槽
- ・一時貯槽

2.2 DBP 及び MBP

再処理工程における DBP 及び MBP については、以下のとおりである。

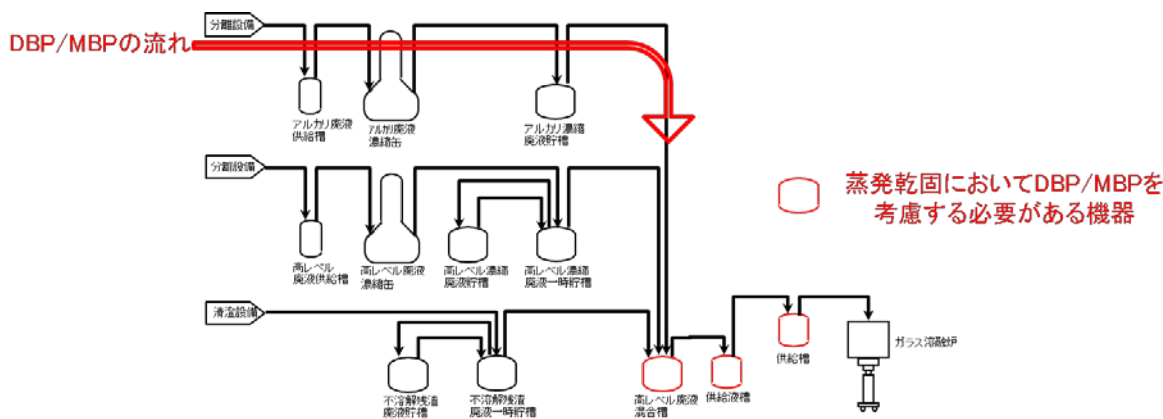
- ▶ 分離設備、分配設備、ウラン精製設備及びプルトニウム精製設備において使用済みの有機溶媒には、n-ドデカン・TBP の他に、微量のウラン・プルトニウム・核分裂生成物、DBP や MBP 等の加水分解又は放射線分解による分解生成物を含む。
- ▶ ウラン・プルトニウムの損失を防ぎ、核分裂生成物によるその後の工程での製品の汚染を防ぐ観点から、分解生成物を除去する必要がある。
- ▶ 特に DBP や MBP はジルコニウム (IV) やプルトニウム (IV) と強く錯形成するため、ウランの逆抽出後の使用済みの有機溶媒中の残留ウラン、プルトニウム濃度の増加及び核分裂生成物濃度の増加という悪影響を及ぼすことから除去する必要がある。

- そのため、使用済みの有機溶媒は、第 2. - 2 図に示すとおり、第 1 ~ 第 3 洗浄器において炭酸ナトリウム溶液等により洗浄して、再生して回収して再利用する。(DBP 及び MBP は、水に可溶性なナトリウム塩として除去し、アルカリ廃液濃縮缶へ移送する。)



第 2. - 2 図 プルトニウム精製設備での DBP/MBP の流れ

- アクティブ試験等の実績では、DBP は、アルカリ廃液濃縮缶での加熱によっても揮発せず、濃縮液としてアルカリ濃縮廃液貯槽へ移送される。
- ガラス固化工程において、アルカリ濃縮廃液、高レベル濃縮廃液及び不溶解残渣廃液を高レベル廃液混合槽で混合し、第 2. - 3 図に示すとおり、供給液槽及び供給槽を経てガラス溶融炉に供給する。
- したがって、蒸発乾固において DBP 及び MBP を考慮する必要があるのは、高レベル廃液混合槽、供給液槽及び供給槽である。(アルカリ廃液濃縮缶及びアルカリ濃縮廃液貯槽は蒸発乾固の対象外)



第 2. - 3 図 ガラス固化工程での DBP/MBP の流れ

- DBP 及び MBP は、TBP と同様に水に可溶であることから、抽出廃液等にわずかに溶ける（アルカリ廃液の系統以外でも存在する）。
- DBP 及び MBP は、抽出塔において有機相/水相の両方に存在する。
- 水相に溶存している DBP 及び MBP は、TBP 洗浄塔や TBP 洗浄器において n-ドデカンにより除去される。図 4 に示す例のとおり、仮に除去しきれなかった場合には、抽出廃液受槽以降に存在することになり、高レベル廃液濃縮缶においても分解せず、高レベル濃縮廃液一時貯槽以降でも存在することになるが、その量はごく微量である。

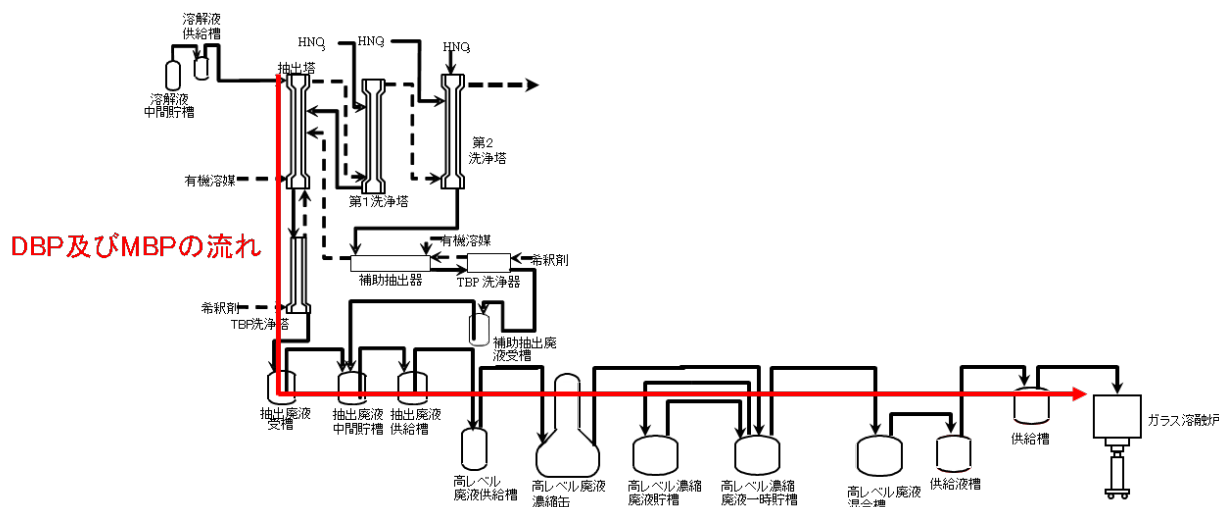


図 4 抽出塔からの DBP/MBP の流れ

3. 試験による考察

3.1 加熱試験

前項より、DBP 及び MBP に関しては、その存在下において液温が上昇し、かつ水分が蒸発することにより硝酸/硝酸塩が濃縮される条件が成立し得る。

高レベル廃液混合槽において、高レベル濃縮廃液及びアルカリ濃縮廃液を混合することを踏まえ、アクティブ試験の実績を参考に DBP 濃度を 300ppm とした場合に模擬供給廃液を加熱した場合の挙動を自社試験により確認した。

また、高レベル廃液混合槽で混合する前の高レベル濃縮廃液についても、模擬液を加熱してその挙動を試験により確認した。

<確認試験>

○TG-DTA による熱分解挙動の確認・評価

○加熱後の乾固物の外観確認

模擬供給廃液及び模擬高レベル濃縮廃液の加熱蒸発、更に継続した昇温過程において、爆発の発生は確認されていない。

<参考：TBP 濃度>

重大事故等対策の有効性評価のうち、TBP 等の錯体の急激な分解反応の評価における TBP 濃度は、140ppm である。これは、濃縮缶の前段の TBP 洗浄器及び油水分離槽での TBP 洗浄が機能しない場合を想定したものであり、運転においては、油水分離槽で溶液の TBP 濃度を分析により確認している。

(1) 熱分解挙動の確認・評価

<試験目的>

爆発により生じる急激な重量変動や熱反応の有無を確認するとともに、得

られた結果から熱分解挙動のメカニズムを考察する。

<試験概要>

TG-DTA により廃液仮焼物の熱分解挙動を確認・評価

<試験条件>

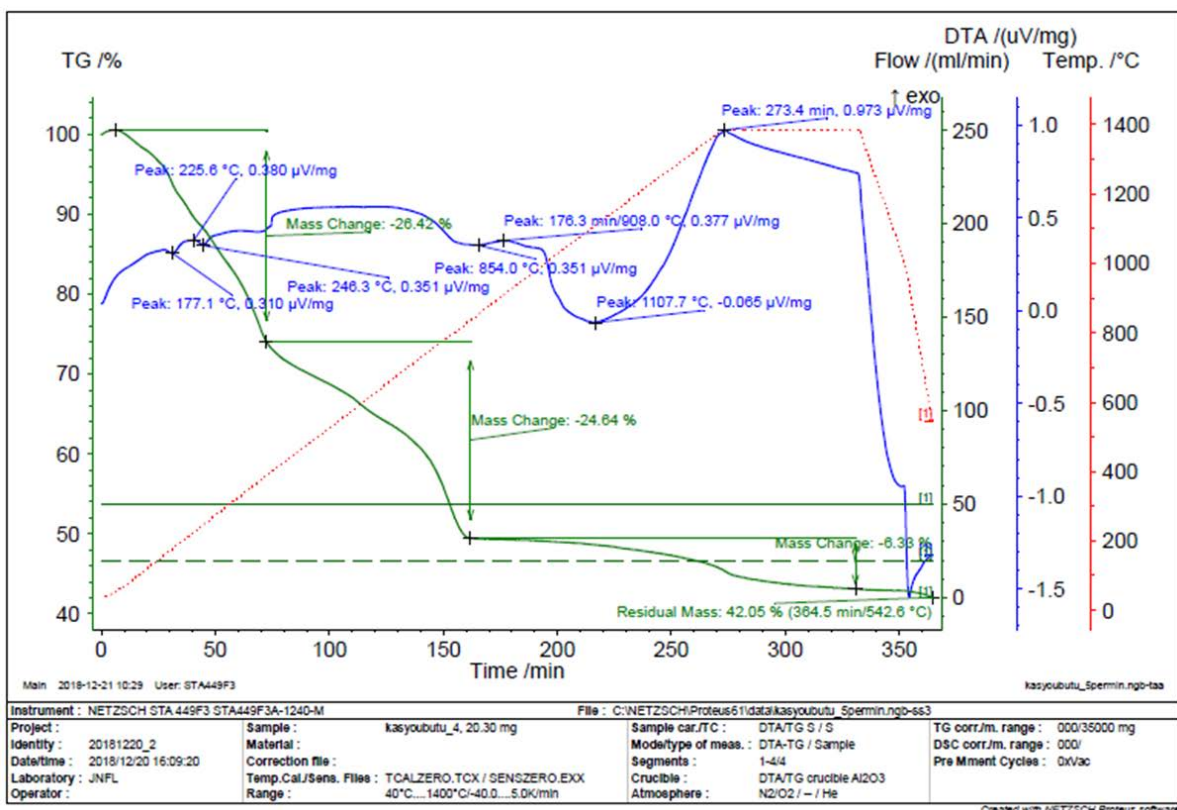
試料：

- ・ DBP を含む溶融炉への模擬供給廃液
- ・ 模擬高レベル濃縮廃液

昇温速度：5°C/min

雰囲気：空気 50ml/min

<模擬供給廃液の TG-DTA>



試験結果 (TG)

- ✓ 室温～900°C付近までの重量減少は脱水及び脱硝反応である。

- ✓ 1000℃～1400℃の緩やかな重量減少については、他のTG-DTA分析の結果等より、金属酸化物又はリン酸金属塩の揮発と推測される。
- ✓ 急激な重量減少はなく、ノイズのような秤量値のブレもないことから、急激なガスの発生等を伴う反応（≒爆発）は発生していないものと考えられる。

試験結果（DTA）

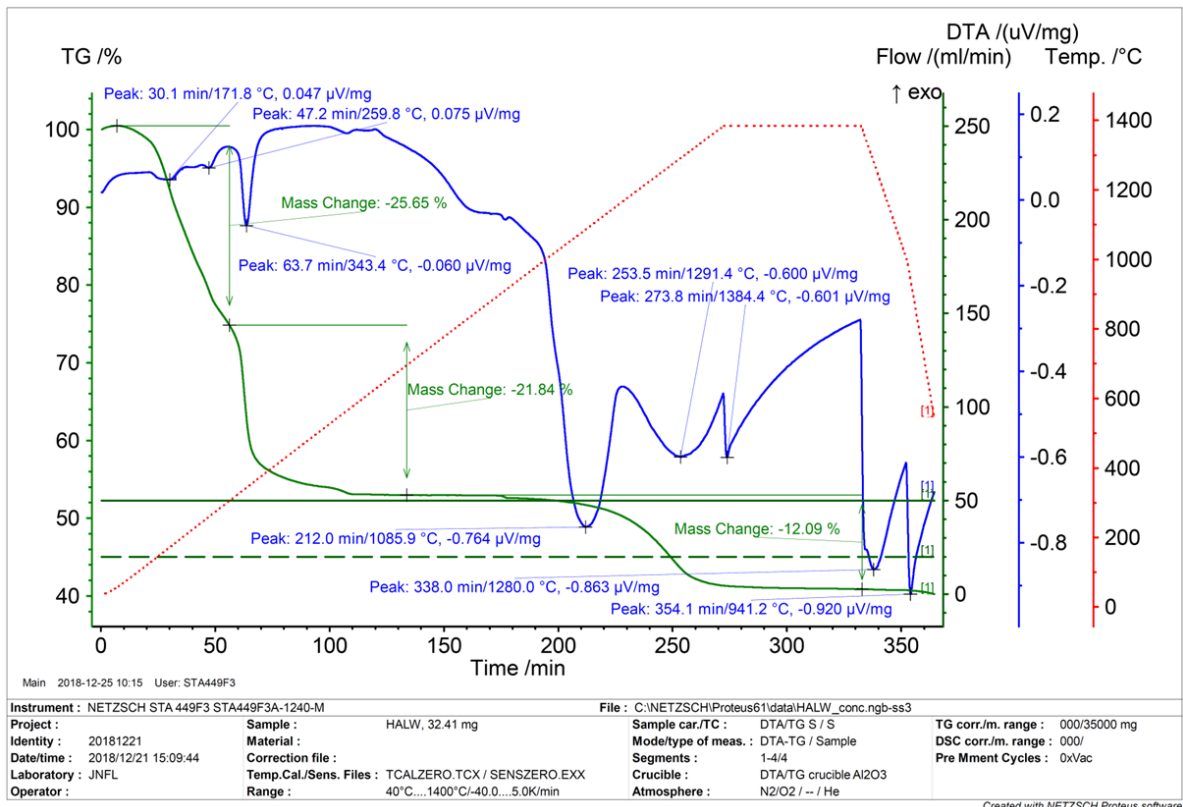
- ✓ 室温～900℃付近までは脱水及び脱硝反応に伴う吸熱反応が認められた。

多数の化合物が含まれているため、各ピークの同定は困難であるが、報告書¹⁾の3-9項以降に示された各化合物の脱硝反応の温度と一致する。

1) 再処理施設における放射性物質移行挙動に係る研究報告書、
「再処理施設における放射性物質移行挙動に係る研究」運営管理グループ、2014.

- ✓ 反応に伴う発熱ピークは認められなかったことから、爆発は発生していないものと考えられる。

< 模擬高レベル濃縮廃液の TG-DTA >



試験結果 (TG)

- ✓ 室温～900°C付近までの重量減少は脱水及び脱硝反応である。
- ✓ 模擬供給廃液との差異として、400°C～800°Cにおける重量減少が少ない。
- ✓ 1000°C～1400°Cの緩やかな重量減少については、他のTG-DTA分析の結果等より、金属酸化物又はリン酸金属塩の揮発と推測される。
- ✓ 急激な重量減少はなく、ノイズのような秤量値のブレもないことから、急激なガスの発生等を伴う反応（≒爆発）は発生していないものと考えられる。

試験結果 (DTA)

- ✓ 室温～900°C付近までは脱水及び脱硝反応に伴う吸熱反応が認められた。

- ✓ 多数の化合物が含まれているため、各ピークの同定は困難であるが、報告書¹⁾の3-9項以降に示された各化合物の脱硝反応の温度と一致する。

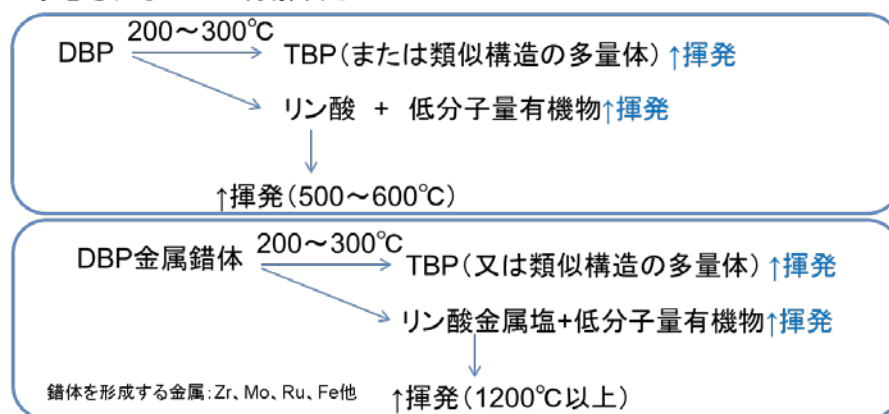
1) 再処理施設における放射性物質移行挙動に係る研究報告書、「再処理施設における放射性物質移行挙動に係る研究」運営管理グループ、2014.

- ✓ 1100℃～1400℃の挙動については測定方法に由来するピークであり、試料に由来するピークではない。
- ✓ 反応に伴う発熱ピークは認められなかったことから、爆発は発生していないものと考えられる。

以下のメカニズムにより、DBPは急激な反応は生じないものとする。

- DBP 金属錯体は 200～300℃で熱分解し、T B P等の熱分解物は揮発する。
- 熱分解反応は急激なものではなく、ガスの発生量も（燃焼に比べて）少ない。
- 発熱を伴い、多量のガスを排出する燃焼反応が生じる前に有機物は全て残渣（＝熱源）外に排出される。

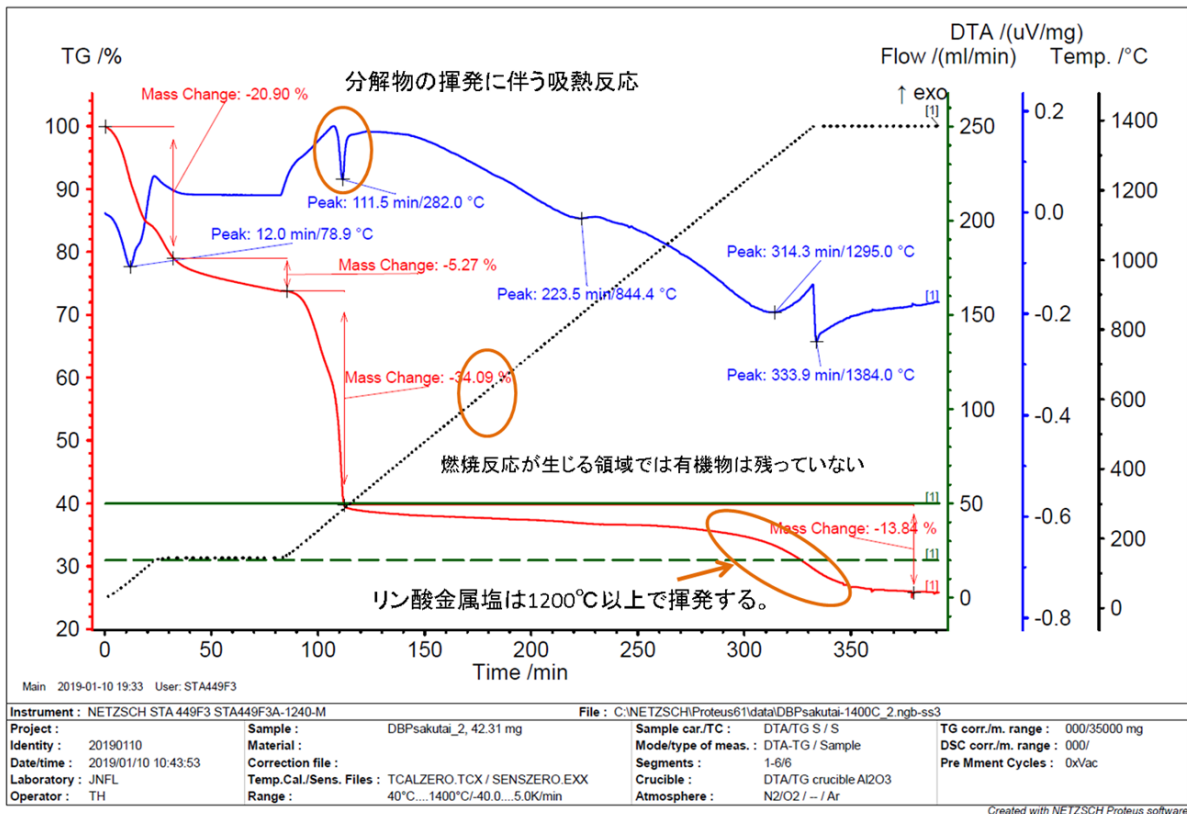
<予想されるDBPの分解反応>



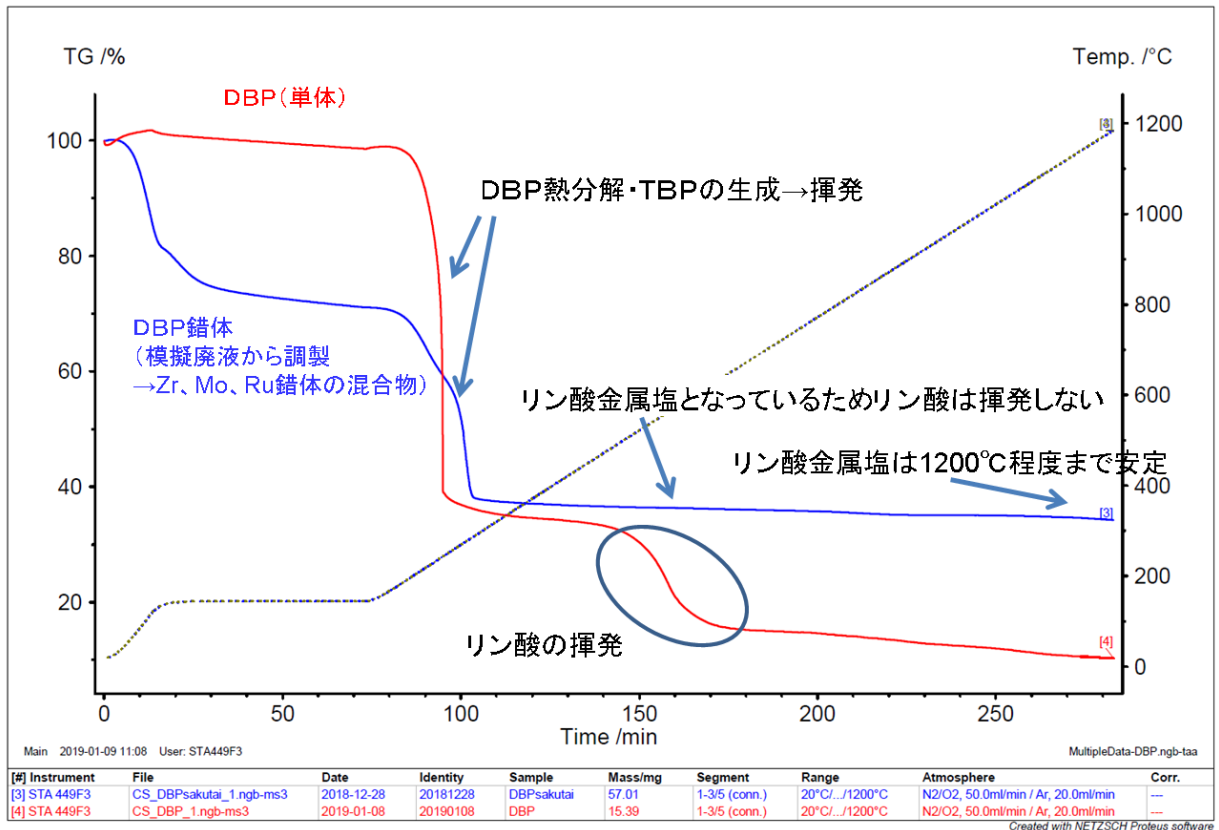
<考察>

- DBP は金属と錯体を形成し、この錯体は凝集しやすく、有機物の濃度が局所的に高くなることから、もともと爆発的な反応を生じる可能性のある状態と想定した。
- DBP 錯体は 200～300℃で熱分解し、TBP と低分子量の有機化合物及びリン酸金属塩を生じる。DBP 錯体の TG-DTA 分析より、これらの反応は急激なものではなく、蒸発熱を上回る発熱も生じない。
- DBP 錯体は分解過程でリン酸金属塩が生成される点が単体と異なる。TG-DTA 分析より、リン酸金属塩は 1200℃程度まで安定で、揮発しない。
- 200～300℃の温度領域で、DBP 中の有機成分は TBP 又は低分子量有機物として蒸発残渣から揮発する。
- 上記の知見は DBP 錯体の分析結果であるが、DBP を含む模擬混合廃液の TG 測定結果においても、矛盾するデータは示されていない。

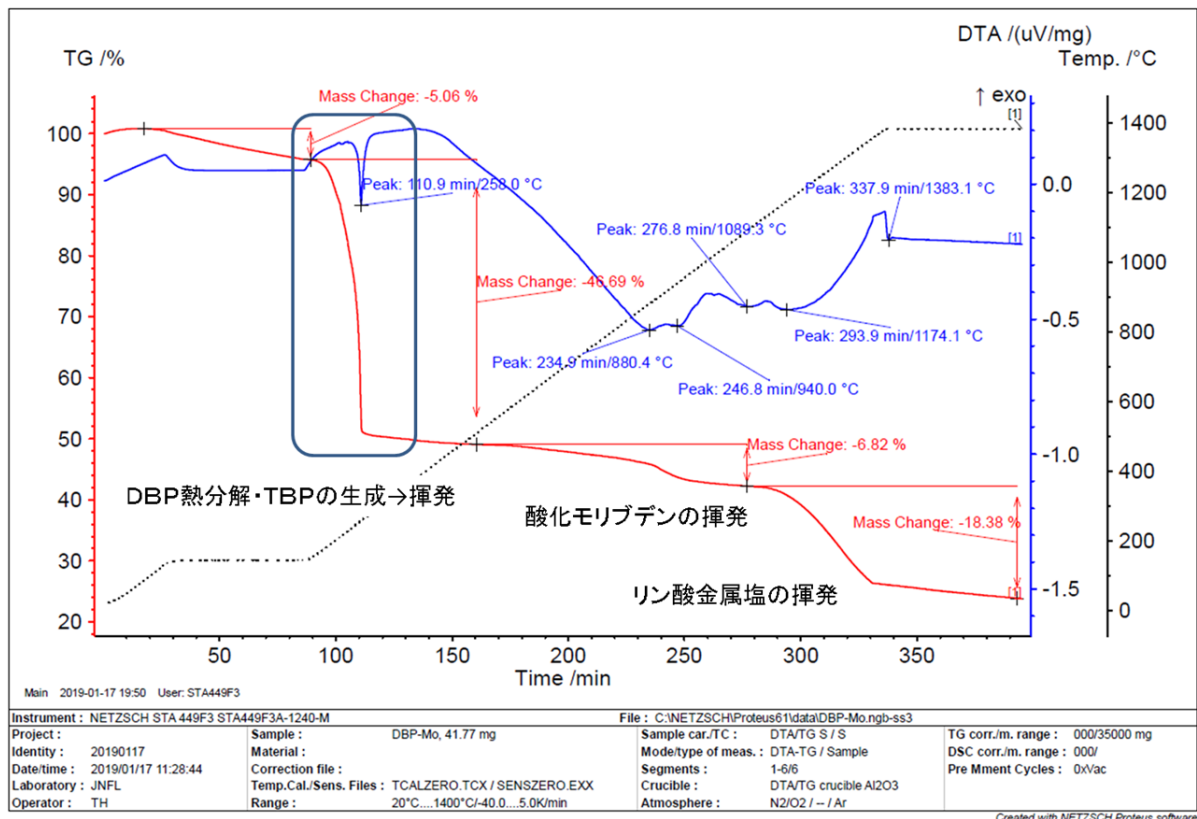
<模擬混合廃液から調製したDBP錯体のTG-DTA>



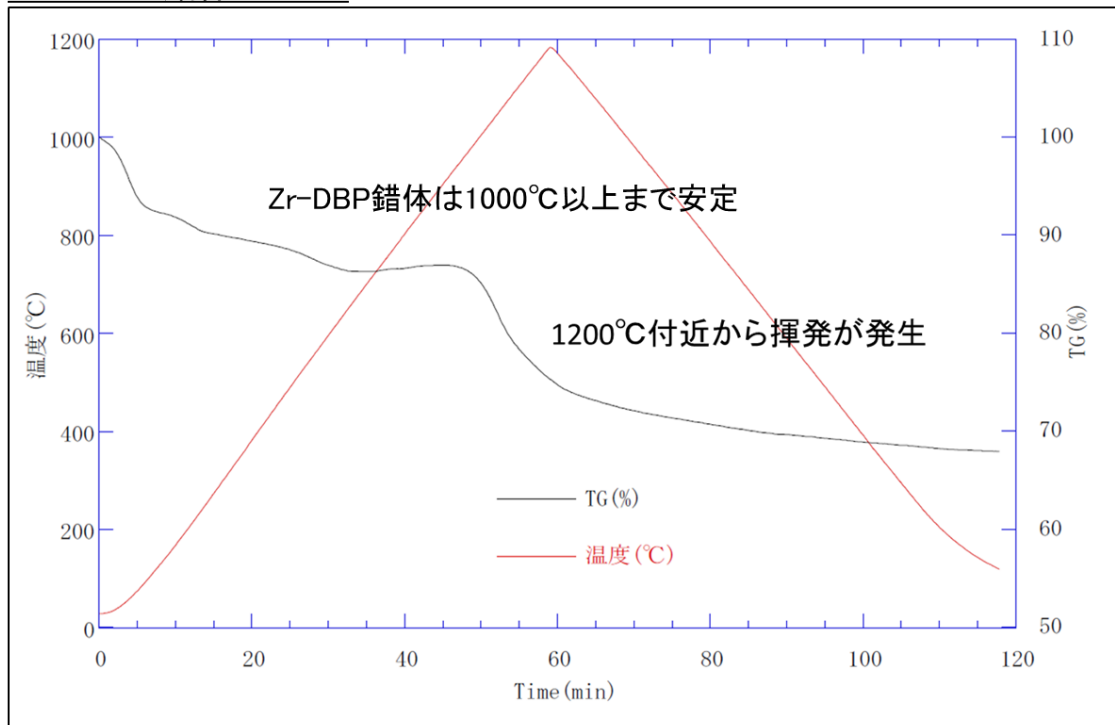
<DBP及びDBP錯体のTG-DTAの比較>



<Mo-DBP錯体のTG-DTA>



<Zr-DBP錯体のTG>

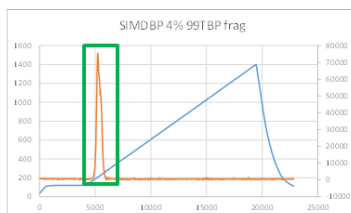


⇒DBPは空気中においても、200～300°Cで熱分解(主にTBPを生成)し、発熱を伴う燃焼反応の発生や多量の二酸化炭素の生成は確認できない。(TBPの自然発火温度は410°C)

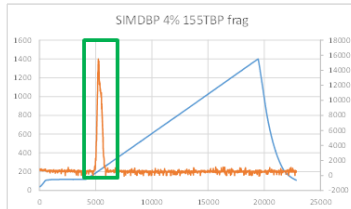
<TG-MSによる分析(TBPの発生温度領域の確認)>

DBP 4% 添加

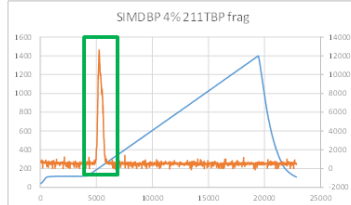
m/z=99



m/z=155



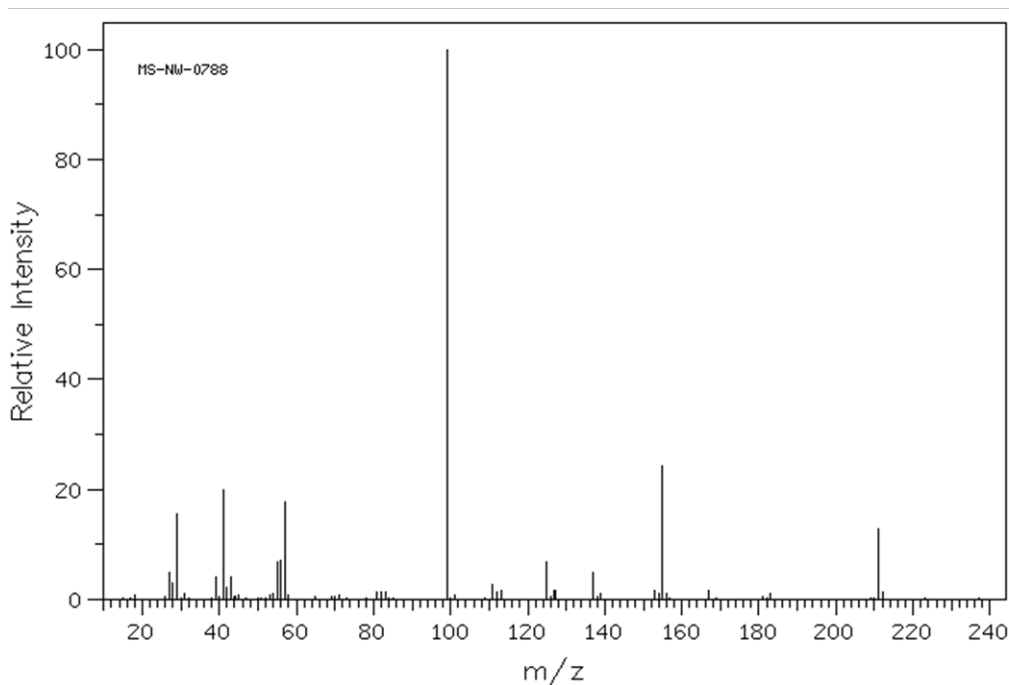
m/z=211



- 条件: He 90mL/min+希ガスSTD(Heベース2000ppmNe+500ppmAr+500ppmKr) 10mL/min
- 昇温プログラム: 室温-(10°C/min)→120(60min保持)-(1°C/min)→1400°C
- 試料: 模擬混合廃液

200~300°C付近でTBPの主なフラグメントイオンピークが検出されており、各ピークの強度比もおおよそ一致する。

<参考 TBPのMSスペクトル>



TBP MSピークリスト

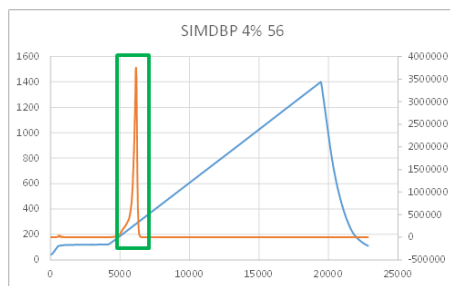
27.0	4.9
28.0	3.0
29.0	15.4
31.0	1.1
39.0	4.0
41.0	19.9
42.0	2.1
43.0	4.1
54.0	1.1
55.0	6.9
56.0	7.2
57.0	17.6
81.0	1.2
82.0	1.4
83.0	1.2
99.0	100.0
111.0	2.6
112.0	1.3
113.0	1.6
125.0	6.7
127.0	1.7
137.0	5.0
139.0	1.1
153.0	1.6
154.0	1.0
155.0	24.4
156.0	1.0
167.0	1.7
183.0	1.0
211.0	12.8
212.0	1.2

(国立研究開発法人産業技術総合研究所 有機化合物のスペクトルデータベース SDBSより)

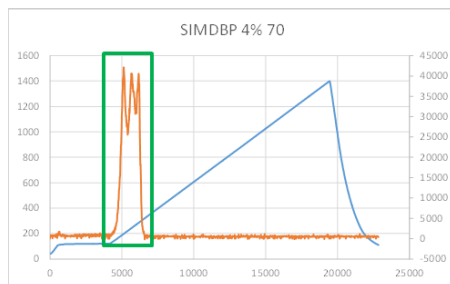
<TG-MSによる分析(その他の有機物の発生温度)>

DBP 4% 添加

m/z=56



m/z=70



- 条件: He 90mL/min+希ガスSTD(Heベ-ス2000ppmNe+500ppmAr+500ppmKr) 10mL/min
- 昇温プログラム: 室温-(10°C/min)→120(60min保持)-(1°C/min)→1400°C
- 試料: 模擬混合廃液

TBP以外の有機物(ブタノール等の直鎖有機化合物等)成分も主に200~300°C付近で揮発していると推測される。

(2) 加熱後の乾固物の外観確認

<試験目的>

模擬液を加熱し、冷却後の外観から、爆発に起因する飛散物の有無を確認する。

<試験概要>

- ①ホットプレート上において加熱し、水分を蒸発させる
- ②サンドバスにて仮焼
- ③電気炉にて 1400℃まで加熱し、冷却後に取り出して外観を観察

<試験条件>







試料：

- ・ DBP を含む溶融炉への模擬供給廃液
- ・ 模擬高レベル濃縮廃液

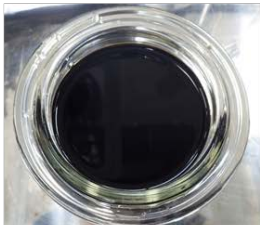




<試験結果>

- ✓ 爆発による飛散物は見られなかった
- ✓ ふた（アルミナるつぼ）にも、爆発による飛散物は見られなかった

<模擬混合廃液仮焼物作製及び電気炉による加熱>

仮焼物作製		
濃縮前	濃縮後、仮焼前	仮焼後
		
<ul style="list-style-type: none"> ・模擬混合廃液にSとして0.117g/Lとなるように硫酸ナトリウムを添加したものをアルミナ匣鉢に400mL分取し、そこにDBPを300mg/Lとなるように添加した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホットプレートにて約2時間加熱し、乾固直前まで水分を蒸発させた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・サンドバスにて設定温度200℃で約7時間仮焼した。 ・仮焼物の重量は89.6gであった。
電気炉による加熱試験		
加熱前	加熱後	加熱時の容器設置方法
		
<ul style="list-style-type: none"> ・作製した仮焼物のうち、一部をアルミナるつぼ(B3)に取り分けた。 ・取り分けた仮焼物の重量は19.15gであった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・炉床昇降式電気炉内で加熱した。加熱条件は以下のとおり。 室温→1400℃:3時間 1400℃保持:2時間 炉内にて放冷 ・加熱後の試料重量は9.13gであった(仕込み重量の約48%)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・仮焼物を入れたアルミナるつぼ(B3)の上にアルミナるつぼ(B6)を被せた。 ・アルミナるつぼ(B6)の一方の下部にはアルミナポートを挟み、仮焼物への空気供給が遮断されないようにした。

<模擬高レベル廃液仮焼物作製>

仮焼物作製		
マンデルヒータによる濃縮前	マンデルヒータによる濃縮後	ホットプレートによる濃縮前
		
<ul style="list-style-type: none"> ・模擬HALWにSとして0.234g/Lとなるように硫酸を添加したものをセパラプラスチックに500mL分取した。 ※模擬HALW 500mLに1M硫酸(factor:0.960、Sとして30.79g/L)3.80mLを添加した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・マンデルヒータにて約4時間半加熱し、液量約10分の1程度まで水分を蒸発させた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・マンデルヒータにて濃縮した液をアルミナ匣鉢に全量移した。
仮焼物作製		
匣鉢による濃縮後	仮焼後	
		
<ul style="list-style-type: none"> ・ホットプレートにて約1時間半加熱し、乾固直前まで水分を蒸発させた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・サンドバスにて設定温度200℃で約7時間仮焼した。 ・仮焼物の重量は96.43gであった。 	

＜模擬高レベル廃液仮焼物の電気炉による加熱＞

電気炉による加熱試験		
加熱前	加熱後	加熱時の容器設置方法
		
<ul style="list-style-type: none"> ・作製した仮焼物のうち、一部をアルミナるつぼ(B3)に取り分けた。 ・取り分けた仮焼物の重量は9.07gであった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・炉床昇降式電気炉にて加熱した。加熱条件は以下のとおり。 室温→1400℃:3時間 1400℃保持:28時間 炉内にて放冷 ・加熱後の試料重量は4.37gであった(仕込み重量の約48%)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・仮焼物を入れたアルミナるつぼ(B3)の上にアルミナるつぼ(B6)を被せた。 ・アルミナるつぼ(B6)の一方の下側にはアルミナボートを挟み、仮焼物への空気供給が遮断されないようにした。

3.2 K2MOC のパラメータ変動等からの推定

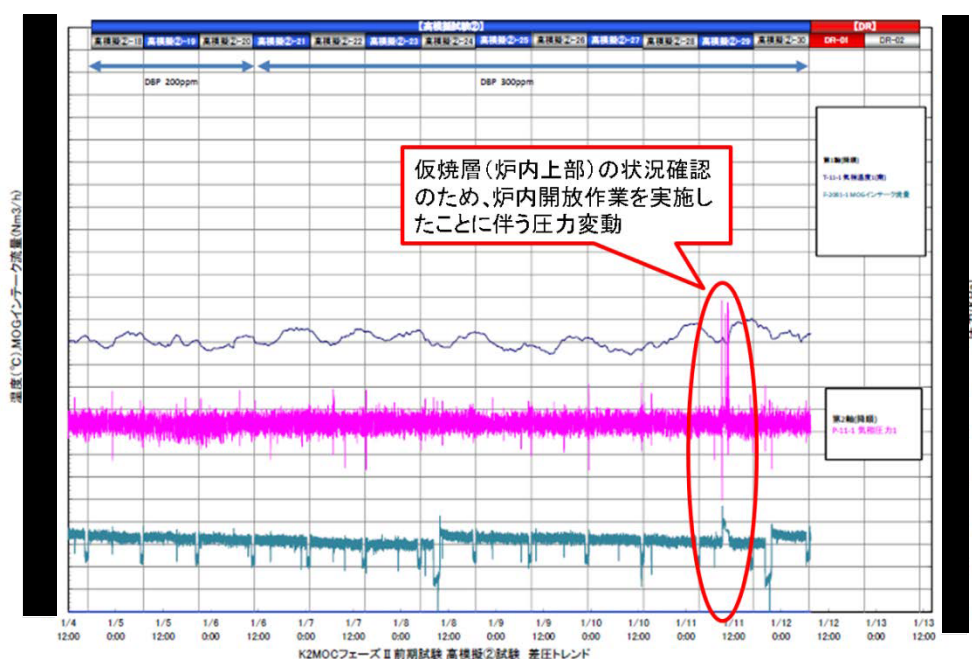
新型ガラス溶融炉のモックアップ試験（K2MOC 試験）について以下に示す。

- ▶ 新型ガラス溶融炉のモックアップ試験（K2MOC 試験）では、ガラス溶融炉の安定運転を確認するため、DBP を混入させた供給液を使った運転を実施している。
- ▶ そこで、模擬供給廃液時のパラメータから、急激な温度変動や圧力変動の有無を確認する。
- ▶ また、K2MOC における廃液供給時の仮焼層の観察から、急激な反応の有無を確認する。

パラメータから急激な温度変動や圧力変動は見られなかった。

また、廃液供給時に仮焼層において急激な反応は観察されなかった。

ガラス溶融炉内の温度は廃液供給時点で約 1200℃であり、かつガラス溶融炉への廃液供給は最大 70L/h で少量ずつ継続して行うことから、供給された廃液に含まれる DBP は、ガラス溶融炉内で瞬時に分解し揮発するものと推定される。

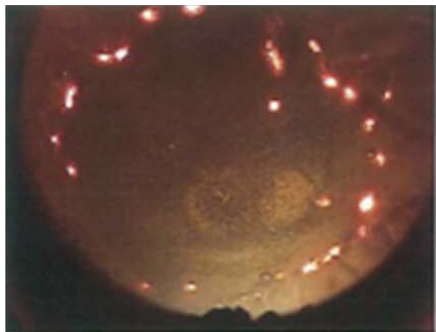


■ について商業機密上の観点から公開できません。

<K2MOC試験による仮焼層の状況>



- ✓ 仮焼層温度は300°Cから600°C程度
- ✓ DBP由来の発泡現象が見られる
- ✓ 急激な燃焼のような反応はない



- ✓ DBPなしの場合の仮焼層状況
- ✓ DBP添加時にみられた発泡なし

4. DBP の分解による爆風過圧の評価

4.1 爆風による過圧発生評価

<想定>

蒸発が進行し、残渣物（TNT 火薬相当）が貯槽底に溜まる

⇒TNT 等価法に基づき、爆風による過圧発生を評価

<評価対象>

蒸発乾固において DBP を考慮する必要がある機器のうち、最も容量が大きい高レベル廃液混合槽を対象とする。

容量：20m³

DBP 濃度：300ppm ⇒ 約 6kg-DBP

<TNT 等価法>

二つの爆薬の直径比を $d_1/d_2=\lambda$ とすると、爆薬 W_2 の爆発により、距離 R_2 の位置 B における爆風圧 P_B と、爆薬 W_1 の爆発により距離 $R_1 (= \lambda R_2)$ の位置 A における爆風圧 P_A は等しくなる。

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\lambda d_2}{d_2} = \frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{1/3}$$

換算距離 Z として次の関係が導かれる。

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}}$$

W: TNT等価薬量 [kg]

R: 爆薬中心からの離隔距離 [m]

< TNT 等価薬量 >

TBP等の錯体の急激な分解反応により発生する熱量としての
1,400kJ/kg-TBP（文献値）をDBPに適用した場合には、

$$6\text{kg-DBP} \text{ で } 8,400\text{kJ} \doteq 2,000\text{kcal}$$

1,000cal=1gTNT 換算より、TNT 等価薬量は 2kg と設定

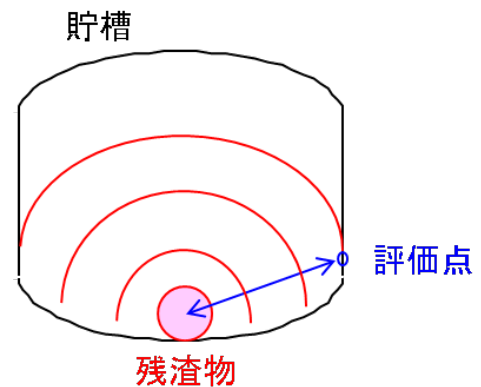
< 爆薬中心からの離隔距離 >

蒸発が進行し、残渣物（TNT 火薬相当）が貯槽底に溜まる状態を想定
爆発により爆風は同心円状に広がるため貯槽壁面にて評価する

⇒残渣物の中心から貯槽壁面までの距離は 1.7[m]

換算距離

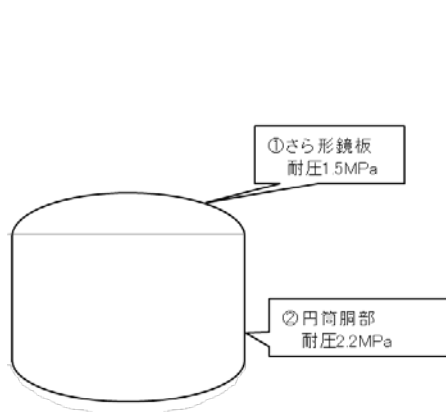
$$Z = \frac{1.7}{2^{1/3}} \doteq 1.35$$



出典：大野編著、基礎からの爆発安全工学、森北出版、2011

<判断基準>

以下のとおり、貯槽部位の形状に応じた耐圧評価を実施した結果、評価部位である貯槽壁面における健全性維持の判断基準は2.2MPaとする。



①さら形鏡板の耐圧

$$P = \frac{2tS_a\eta}{RW + 0.2t}$$

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

t : 板厚 (=10.17mm)

S_a : 許容応力 (=359.1MPa)

η : 継手効率 (=1)

R : さら形鏡板中央部の半径 (=3155.83mm)

r : さら形鏡板すみの丸みの内半径 (=0.1R)

より,

P=1.5MPa

②円筒胴部の耐圧

$$P = \frac{2tS_a\eta}{D_i + 1.2t}$$

t : 板厚 (=10.17mm)

S_a : 許容応力 (=359.1MPa)

η : 継手効率 (=1)

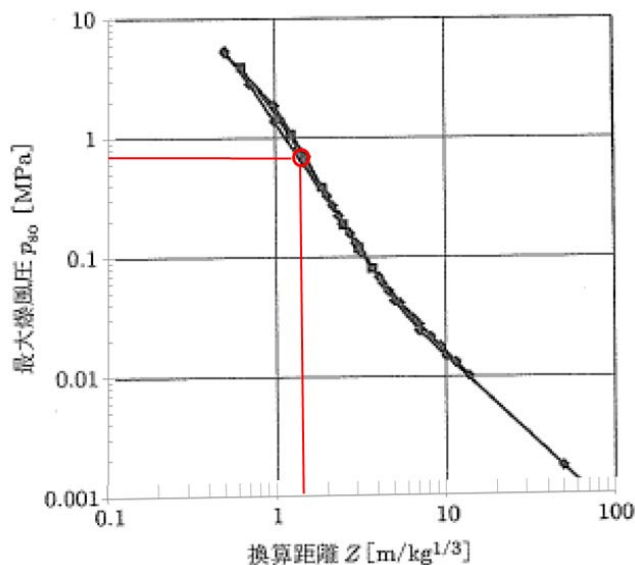
D_i : 機器内径 (=3189.66mm)

よりP=2.2MPa

<評価結果>

第4. - 1 図より、最大爆風圧は0.7MPa程度である。

したがって、本条件における評価においては、機器の健全性を大きく損なうことはないと考えられる。



出典: 大野編著、基礎からの爆発安全工学、森北出版、2011

第4. - 1 図 最大爆風圧と換算距離の関係

4.2 可搬型フィルタへの影響評価

<想定>

TBP等の錯体の急激な分解反応により発生する熱量としての1,400kJ/kg-TBP（文献値）をDBPに適用し、発熱分が全てセルの空気を温めるものとして簡易計算を行う。

計算式は以下のとおり

$$\Delta T = \frac{QM}{V\rho C_p}$$

$$\Delta P = P_0 \left(\frac{T_1}{T_0} - 1 \right)$$

ΔT : 反応に伴う温度差 (K)

Q: DBP の反応熱 (kJ/kg-DBP)

M: DBP の重量 (kg)、6kg

V: 導出対象セルの体積 (m^3)、 $2176.3m^3$

ρ : 空気密度 (kg/m^3)、 ΔT を大きく評価するように $100^\circ C$ 、 $0.1MPa$ における $0.933kg/m^3$ を用いる [1]

C_p : 空気比熱 (kJ/kg/K)、空気密度に合わせて $100^\circ C$ 、 $0.1MPa$ における $1.012kJ/kg/K$ を用いる [1]

ΔP : 温度上昇に伴う圧力上昇 (kPa)

P_0 : 初期圧力 101.3kPa

T_1 : $T_0 + \Delta T$ (K)

T_0 : 初期温度 323K

<判定基準>

可搬型フィルタの健全性が維持される温度は 200℃未満[2]，可搬型フィルタの健全性が維持される差圧は 9.8 k P a 未満[3]とする。

<評価結果>

導出先セルの温度上昇は 4.1℃、圧力上昇は 1.3kPa であることから、可搬型フィルタは健全性が維持される。

[1]伝熱工学資料、改訂第 5 版、日本機械学会、丸善(株)、ISBN978-4-88898-184-2

[2] 尾崎誠、金川昭、“高性能エアフィルタの苛酷条件下における性能、”日本空気清浄協会機関誌、25[6]、(1988)

[3]尾崎誠、安藤昇、金川昭、“高性能エアフィルタの苛酷時健全性試験、(VII) 圧力変化試験、”日本原子力学会誌、30、551-558(1988)

5. まとめ

- 再処理工程における移行挙動を整理すると、TBP/DBP/MBP の工程内での存在は以下のとおりとなる。
 - ・ TBP は希釈剤により洗浄することにより、それ以降には有意量は存在しない。
 - ・ DBP 及び MBP は、溶媒洗浄により除去することから、アルカリ廃液に存在する。その他の工程にも存在する可能性はあるが、その量はごく微量である。
- DBP 及び MBP に関しては、その存在下の硝酸／硝酸塩溶液の液温が上昇し、かつ水分が蒸発することにより熱分解する条件が成立し得るが、

- ・加熱試験

 - 熱分解挙動の確認・評価

 - 加熱後の乾固物の外観確認

- ・K2MOC のパラメータ変動等からの推定

から、爆発は発生し難いと考えられる。

- 万が一爆発に至った場合における爆発規模は、TNT 換算で 2kg 程度であり、機器や可搬型フィルタの健全性を損なうものではない。

補足説明資料 7 - 2

1. 冷却機能の喪失による蒸発乾固の対処概要

1.1 蒸発乾固の発生の防止のための措置の概要

安全冷却水系の機器が損傷し、冷却機能が喪失した場合には、蒸発乾固の発生を未然に防止するため、重大事故等対処施設の冷却機能の喪失による蒸発乾固に対処するための設備の蒸発乾固未然防止設備の常設重大事故等対処設備の給水施設の冷却水設備の安全冷却水系の内部ループに通水し、蒸発乾固を想定する機器に内包する高レベル廃液等を冷却する。

冷却機能が喪失した状態が継続した場合の高レベル廃液等が沸騰に至るまでの時間は、前処理建屋において約 140 時間、分離建屋において約 15 時間、精製建屋において約 11 時間、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において約 19 時間及び高レベル廃液ガラス固化建屋において約 23 時間である。

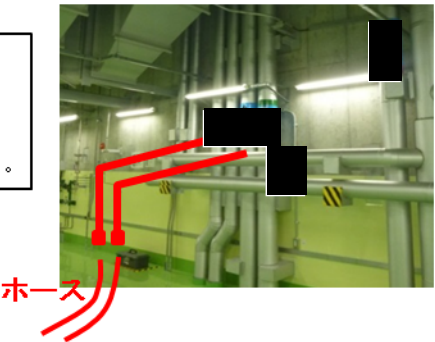
各建屋の対策の概要等を以下に示す。

1 膨張槽液位確認

【作業概要】
安全冷却水系内部ループ配管の破損有無の確認のため、膨張槽液位計の指示値を確認する。

2 内部ループ通水準備(ホース敷設、ホース接続、隔離)

【作業概要】
外部からの通水を実施するためのホース敷設、弁隔離、可搬型流量計設置等を実施する。



3 内部ループ通水(弁操作、漏えい確認、ループ健全性確認、流量確認)


【作業概要】
注排水弁を徐々に開とし開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



4 温度計設置(可搬型温度計設置による貯槽温度測定、温度確認)

5 貯槽温度測定

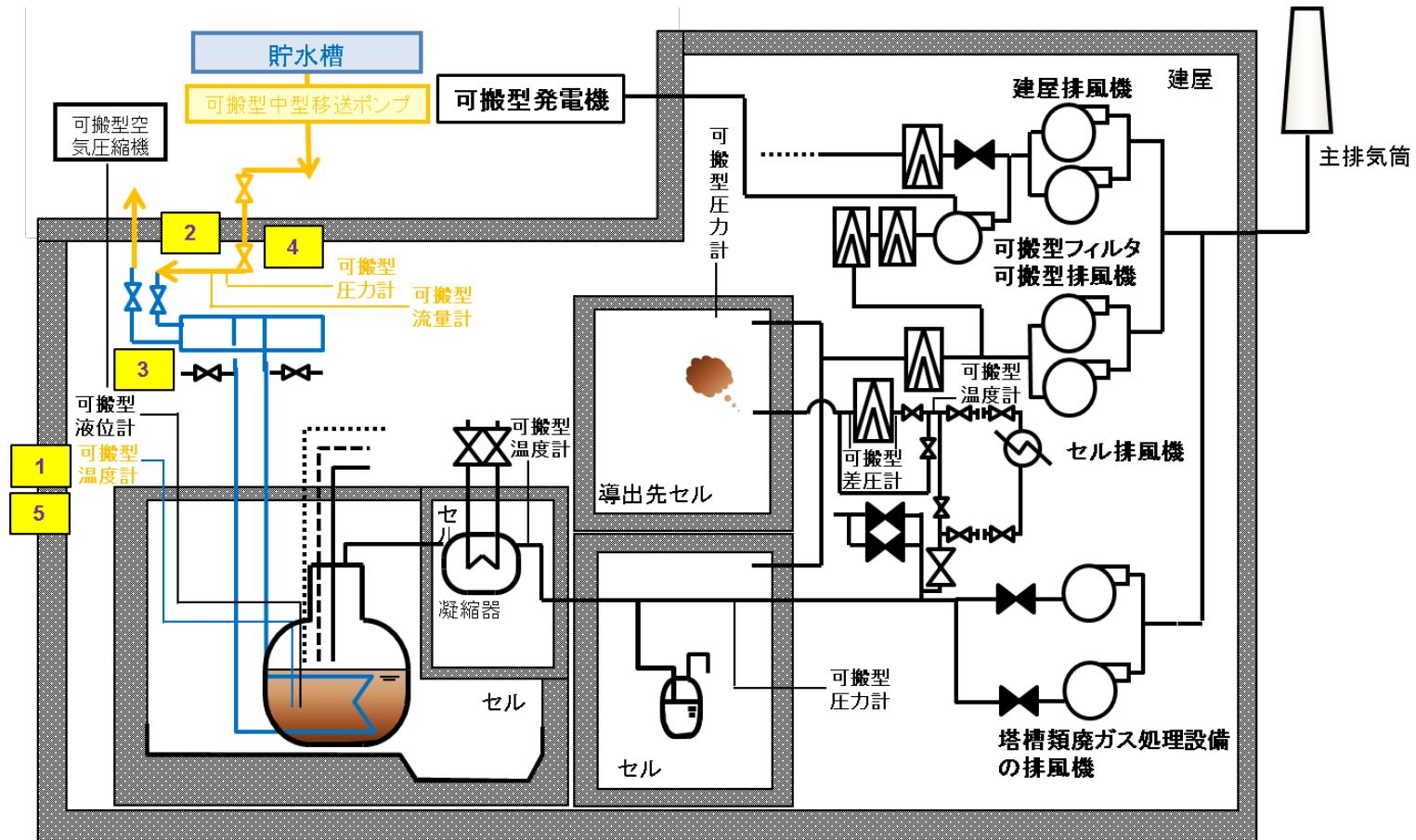
【作業概要】
溶解液等の温度推移を監視するため及び蒸発乾固の拡大の防止のための措置への移行判断のために可搬型温度計を設置し、冷却停止による温度上昇の有無を確認する。
また、通水作業後においては、対策実施後の温度推移を確認する。



第 1. - 2 図 前処理建屋の内部ループ通水による冷却概要

■ について商業機密上の観点から公開できません。

【分離建屋の蒸発乾固の発生の防止のための措置の概要】




※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り
 水色: 対策で使用する系統(常設) 橙色: 可搬型設備

第 1. - 3 図 分離建屋の内部ループ通水による冷却概要図

1 温度計設置(可搬型温度計による濃縮缶温度測定)

5 温度計測



【作業概要】
 高レベル廃液の温度推移を監視するため及び蒸発乾固の拡大の防止のための措置への移行判断のために温度計を設置し、冷却停止による温度上昇の有無を確認する。また、通水作業後においては、対策実施後の温度推移を確認する。

4 内部ループ通水(弁操作、漏えい確認、ループ健全性確認、流量確認)

【作業概要】
 出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水経路の健全性を確認した後に、注排水弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



2、3 内部ループ通水準備(ホース敷設、ホース接続、隔離)

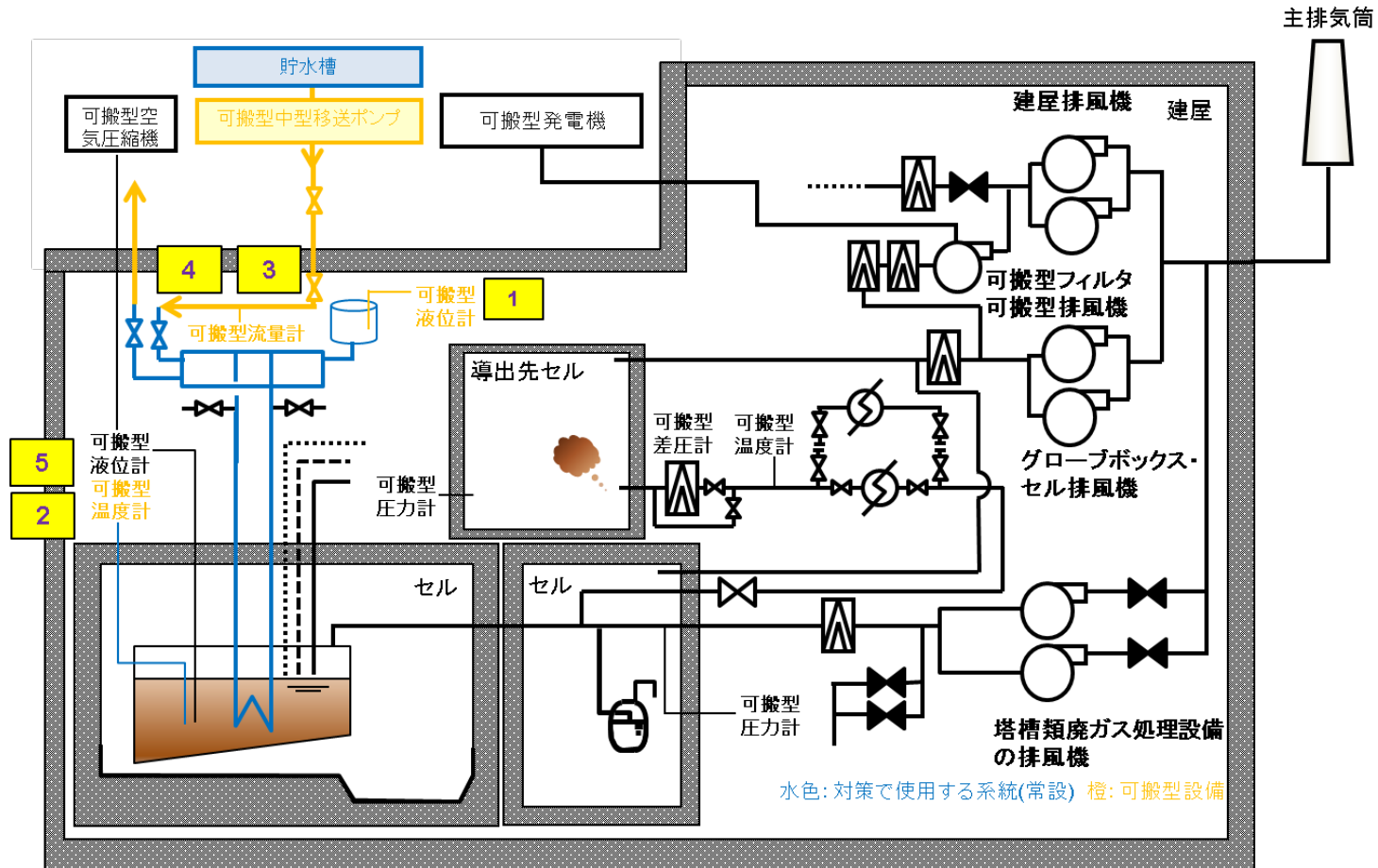
【作業概要】
 外部からの通水を実施するためのホース敷設、弁隔離、可搬型流量計設置等を実施する。



第 1. - 4 図 分離建屋の内部ループ通水による冷却概要

■について商業機密上の観点から公開できません。

【精製建屋の蒸発乾固の発生の防止のための措置の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

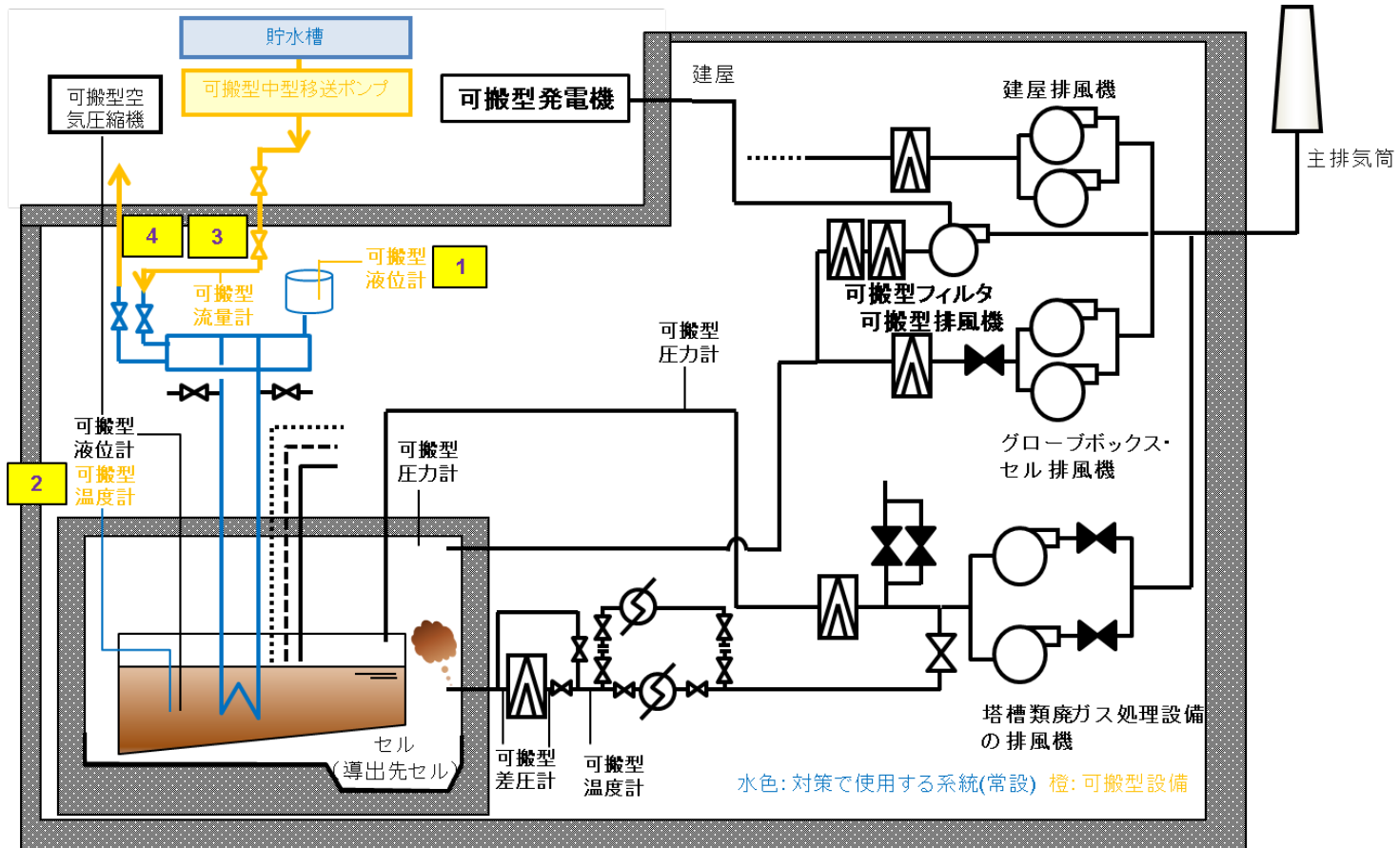
第 1. - 5 図 精製建屋の内部ループ通水による冷却概要図

<p>1 膨張槽液位確認</p> <p>【作業概要】 安全冷却水系内部ループ配管の破損有無の確認のため、膨張槽液位計の指示値を確認する。</p>	
<p>3 内部ループ通水準備(ホース敷設、ホース接続、隔離)</p> <p>【作業概要】 外部からの通水を実施するためのホース敷設、弁隔離、可搬型流量計設置等を実施する。</p> 	<p>2 温度計設置(可搬型温度計による貯槽温度測定)</p> <p>5 貯槽温度測定、温度確認</p> <p>【作業概要】 プルトニウム濃縮液一時貯槽等の温度推移を監視するため及び蒸発乾固の拡大の防止のための措置への移行判断のために温度計を設置し、冷却停止による温度上昇の有無を確認する。また、通水作業後においては、対策実施後の温度推移を確認する。</p> 
<p>4 内部ループ通水(弁操作、漏えい確認、ループ健全性確認、流量確認)</p> <p>【作業概要】 弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。</p> 	

第 1. - 6 図 精製建屋の内部ループ通水による冷却概要

■ について商業機密上の観点から公開できません。

【ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の蒸発乾固の発生防止のための措置の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 1. - 7 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の内部ループ通水による冷却概要図

1 膨張槽液位確認

【作業概要】

安全冷却水系内部ループ配管の破損有無の確認のため、膨張槽液位計の指示値を確認する。

2 温度計設置(可搬型温度計による貯槽温度測定、温度確認)



【作業概要】

硝酸プルトニウム溶液等の温度推移を監視するため及び蒸発乾固の拡大の防止のための措置への移行判断のために温度計を設置し、冷却停止による温度上昇の有無を確認する。
また、通水作業後においては、対策実施後の温度推移を確認する。

4 内部ループ通水(弁操作、漏えい確認、ループ健全性確認、流量確認)

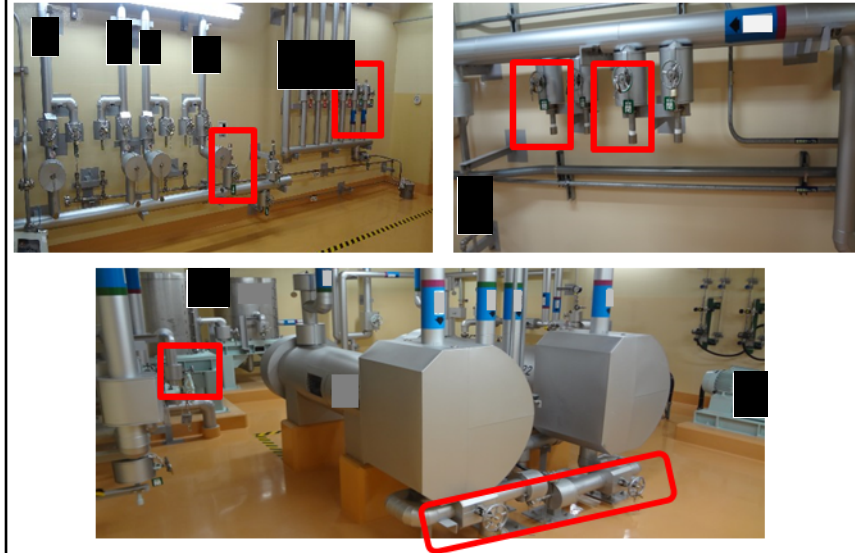
【作業概要】

注排水弁を徐々に開とし開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。

3 内部ループ通水準備(ホース敷設、ホース接続、隔離)

【作業概要】

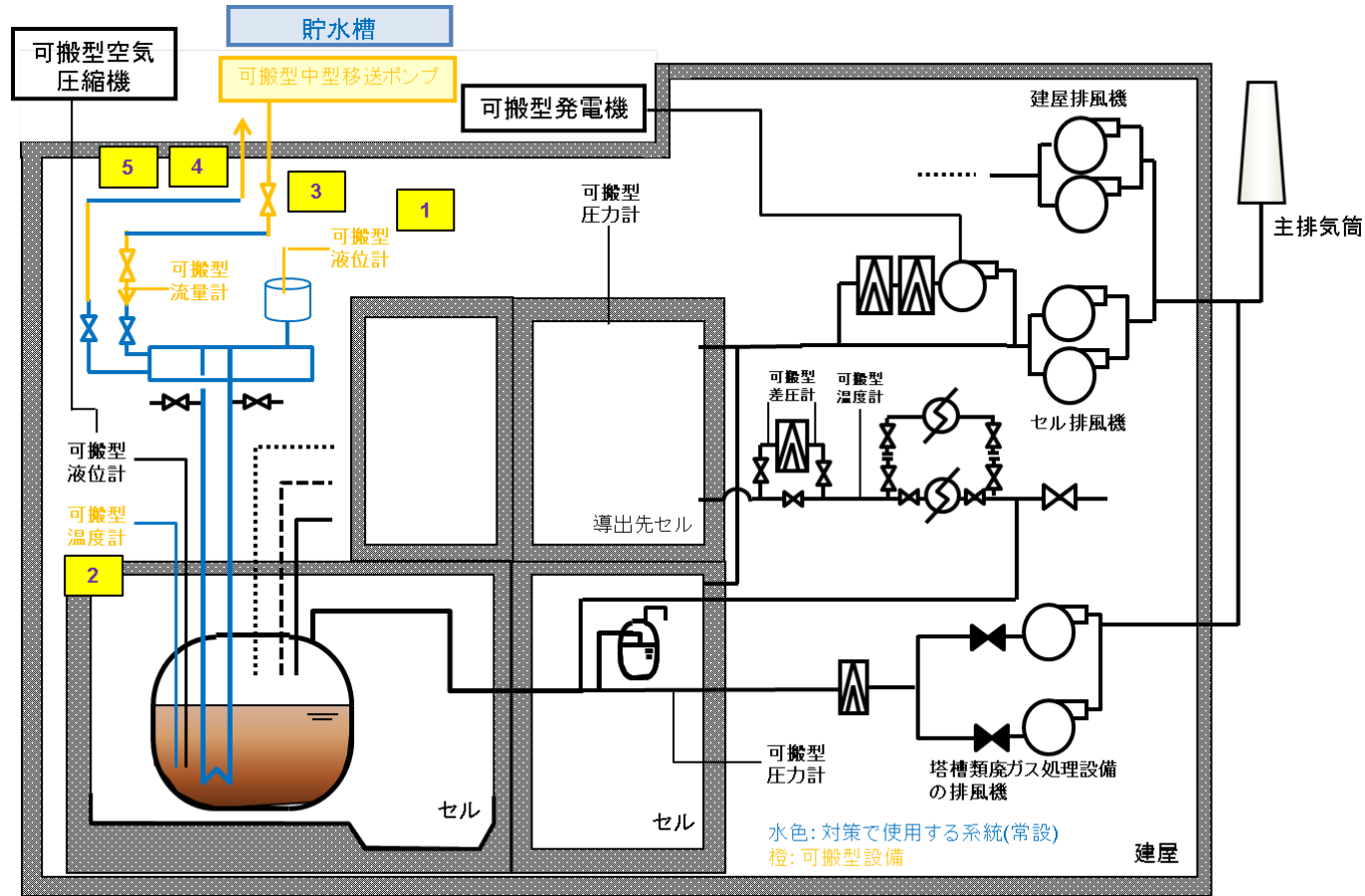
外部からの通水を実施するためのホース敷設、弁隔離、可搬型流量計設置等を実施する。



第 1. - 8 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の内部ループ通水による冷却概要


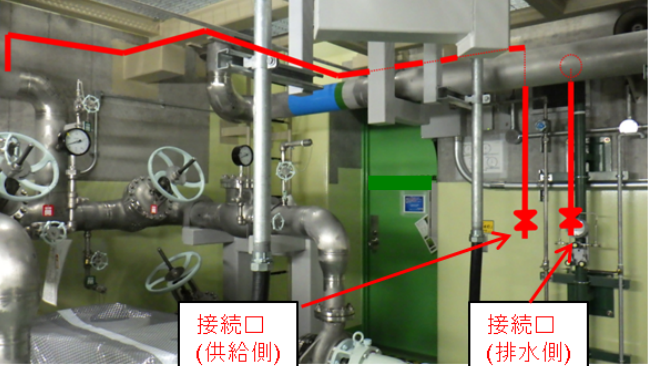


■について商業機密上の観点から公開できません。

【高レベル廃液ガラス固化建屋の蒸発乾固の発生の防止のための措置の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 1. - 9 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の内部ループ通水による冷却概要図

<p>1 膨張槽液位確認</p>  <p>【作業概要】 安全冷却水系内部ループ配管の破損有無の確認のため、膨張槽液位計の指示値を確認する。</p>	<p>3、4 内部ループ通水準備(ホース敷設、ホース接続、隔離)</p> <p>【作業概要】 外部からの通水を実施するためのホース敷設、弁隔離、可搬型流量計設置等を実施する。</p>  <p>接続口 (供給側)</p> <p>接続口 (排水側)</p>
<p>2 温度計設置及び温度計測</p>  <p>【作業概要】 高レベル廃液の温度推移を監視するため及び蒸発乾固の拡大の防止のための措置への移行判断のために可搬型の温度計を設置し、冷却停止による温度上昇の有無を確認する。また、通水作業後においては、対策実施後の温度推移を確認する。</p>	<p>5 内部ループ通水(弁操作、漏えい確認、ループ健全性確認、流量確認)</p> <p>【作業概要】 注排水弁を徐々に開とし開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。</p> 

第 1. -10 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の内部ループ通水による冷却概要

1.2 蒸発乾固の発生の防止のための措置の信頼性

1.2.1 内部ループ通水による冷却に使用する設備の設計

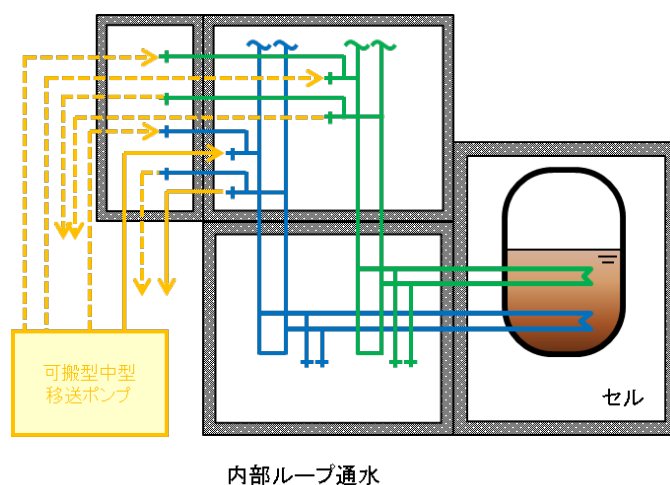
内部ループ通水に使用する系統は、基準地震動を 1.2 倍にした地震動を考慮する設計とすることで、系統自身の堅牢性を十分確保した上で、乾燥・固化後の状態におけるリスクの大きさを考慮し、さらに信頼性を高めるための設計としている。

- ✓ 位置的分散及び独立性を考慮した系統を 2 系統整備※ ⇒ 多重性確保
- ✓ 1 系統あたり 2 口、合計 4 口の接続口を整備※ ⇒ 通水のための多様な空間を確保

※ 通常運転時、1 系統の安全冷却水系で冷却を行っている貯槽を除く。これらの貯槽は、沸騰に至るまでの時間が概ね 100 時間を超えることから、仮に内部ループへの通水が機能しない場合においては、冷却コイル又は冷却ジャケットへの通水へ切り替える。

○接続口の信頼性

内部ループ通水に使用する配管は、独立した系統に複数の接続口を設け、複数の部屋で通水できるように設計している。



第 1. - 11 図 内部ループ通水の接続口概要図

1.2.2 内部ループ通水による冷却に使用する設備の有効性について

蒸発乾固への対処は、安全冷却水系の冷却機能の喪失が発生した場合に実施するため、蒸発乾固への対処に使用する重大事故等対処施設には、安全冷却水系の冷却機能の喪失に伴って生じる環境条件の変化を想定した場合でも、必要な機能を有効に発揮することが求められる。

以下に、重大事故等対処施設が機能を発揮できることを説明する。

a. 温度

1) 常設重大事故等対処設備

内部ループ通水は、溶液の沸騰前に実施することから、その温度は最大でも溶液の沸点程度であり、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 内部ループ通水は、基本的に沸騰開始前までに実施されることから、温度条件としては沸点以下が基本。

2) 可搬型重大事故等対処設備

可搬型重大事故等対処設備は、直接溶液と接することではなく、外部から供給される冷却水又は除熱後の排水を通水するのみである。内部ループへの通水時の供給水量は、除熱後の排水温度が 55℃以下となる水量で供給することから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 可搬型ホース等は直接溶液と接することではなく、外部から供給される冷却水又は除熱後の排水を通水するのみである。
- ✓ 可搬型ホース（消防ホース）の耐熱温度 60℃に対し、内部ループへの通水時の供給水量は、除熱後の排水温度が 55℃以下となる水量で供給することから、想定される使用条件において有意な影響を与えることはない。

b. 圧力

可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧が圧力条件として最も高いが、内部ループ通水による冷却に使用する設備は最高使用圧力以下の供給圧で冷却水を供給する運用とすることから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 常設重大事故等対処設備の最高使用圧力が 0.98MP a であるのに対し、可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧を 0.8MP a 以下とすることから、有意な影響はない
- ✓ 可搬型ホース（消防ホース）の使用圧力が 1.6MP a 程度であるのに対し、可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧を 0.8MP a 以下とすることから、有意な影響はない

c. 放射線

直接溶液と接する常設重大事故等対処設備における放射線影響は、平常運転時と同程度であり、直接放射線と接しない可搬型重大事故等対処設備における放射線影響は、セル外で使用することからその影響は無視できることから、設備の機能を損なうことはない。

1.2.3 冷却水の供給

- ✓ 各建屋の沸騰に至るまでの時間が最も短い機器の時間余裕、内部ループ通水開始時間及び各建屋において冷却に必要な水の流量を以下に示す。
- ✓ いずれの建屋においても、整備した可搬型中型移送ポンプ（容量 240 m³/h）を用いて沸騰開始前までに冷却水の通水が可能である。

第 1. - 1 表 時間余裕, 内部ループ通水開始時間及び必要流量

建屋	沸騰までの時間	内部ループ通水開始時間	必要流量
前処理建屋	140 時間	35 時間 40 分	約 29m ³ /h
分離建屋	15 時間	13 時間	約 33m ³ /h
精製建屋	11 時間	8 時間 50 分	約 4.1m ³ /h
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	19 時間	17 時間	約 1.3m ³ /h
高レベル廃液ガラス固化建屋	23 時間	20 時間	約 70m ³ /h

2. 蒸発乾固の拡大の防止のための措置の概要

蒸発乾固の発生の防止のための措置の実施にも係らず、機器に内包する高レベル廃液等が沸騰に至る場合には、機器に注水することにより、放射性物質の発生を抑制し、蒸発乾固の進行を緩和する。

さらに、蒸発乾固への対策に使用する常設重大事故等対処設備の配管以外に、機器に接続している重大事故等対処施設の放射線分解により発生する水素による爆発に対処するための設備の常設重大事故等対処設備の配管を始めとするその他の配管を活用した機器への注水手順書を整備することにより、機器への注水を確実なものとする。

さらに、内部ループへの通水が実施できなかつた場合でも、より機器に近い位置から冷却コイル又は冷却ジャケットへ通水することにより、蒸発乾固を想定する機器に内包する高レベル廃液等を冷却する。

また、機器に接続する塔槽類廃ガス処理設備の配管の流路を遮断することにより、放射性物質をセルに導出し、セルへの導出経路及びセルにて放射性エアロゾルの沈着を図る。

また、冷却機能が喪失している状況において、溶液が沸騰していない状態であっても、水素掃気用の圧縮空気が継続して供給されることに伴い、機器の気相部の放射性物質が圧縮空気により同伴され、蒸発乾固が発生した設備に接続する換気系統の配管に設置されている水封安全器からセル等へ移行した後、地上放散する可能性がある。このため、気相中に移行した放射性物質の大気中への放出を可能な限り低減するため、放射線分解により発生する水素による爆発を想定する機器内の水素濃度が8 v o 1 %に至る時間が長い建屋への圧縮空気の供給を停止し、放射性物質の移行を停止するとともに、塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットの経路を速やかに構築する。

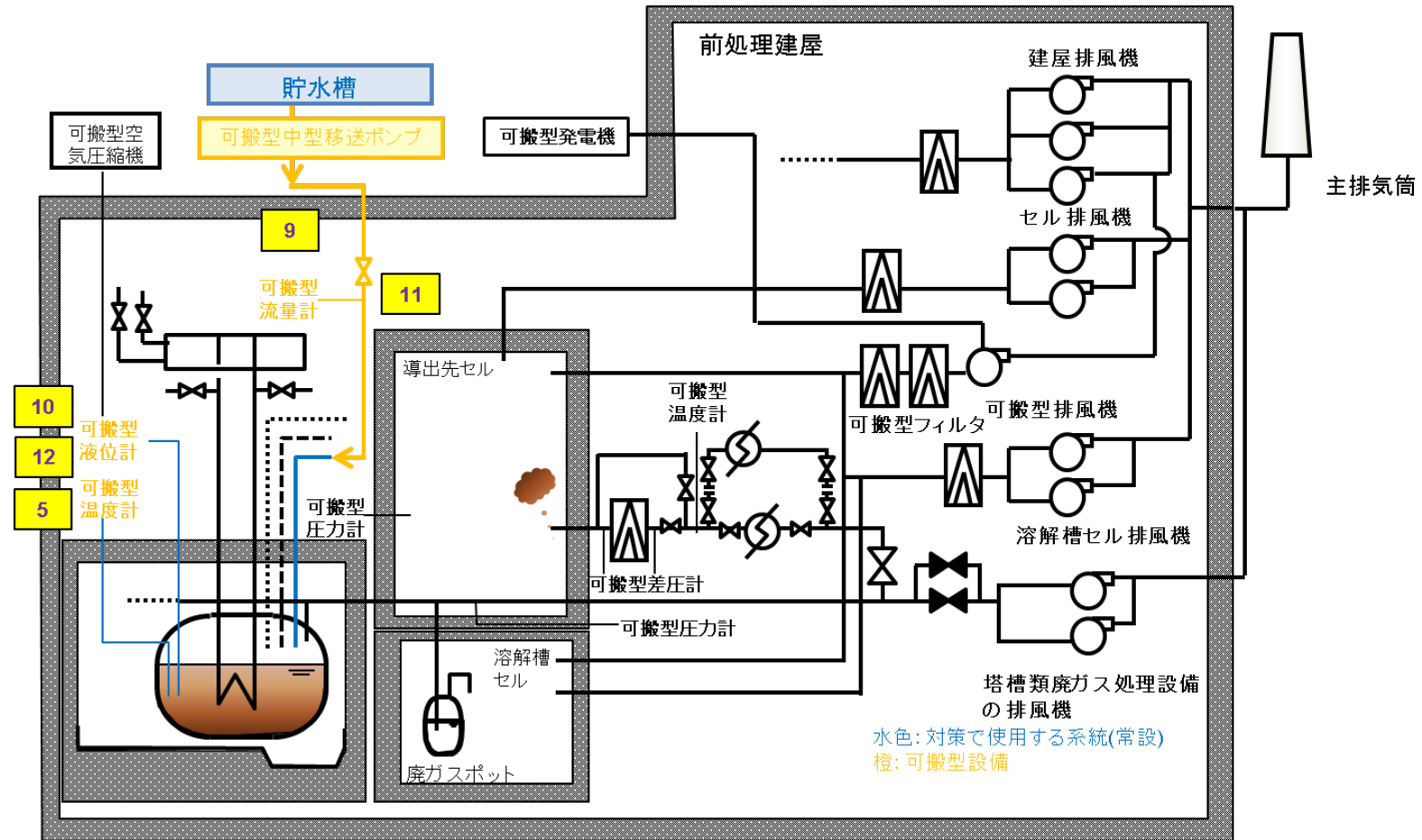
溶液が沸騰していない状態で機器の気相部へ移行し、水素掃気の圧縮空気により同伴された放射性物質については、セルへの導出経路上に設置した高性能粒子フィルタにより放射性エアロゾルを除去する。

溶液の沸騰に伴い発生した放射性物質はセルに導出する前に、凝縮器に通水することで、沸騰に伴い発生する蒸気を凝縮し、凝縮水を回収する。

放射性物質の大気中への経路外放出を防止するため、排風機を運転し、高性能粒子フィルタにより放射性エアロゾルを除去することで大気中へ放出される放射性物質量を低減し、主排気筒から大気中へ管理しながら放出する。

各建屋の対策の概要等を以下に示す。

【前処理建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（貯水槽から機器への注水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

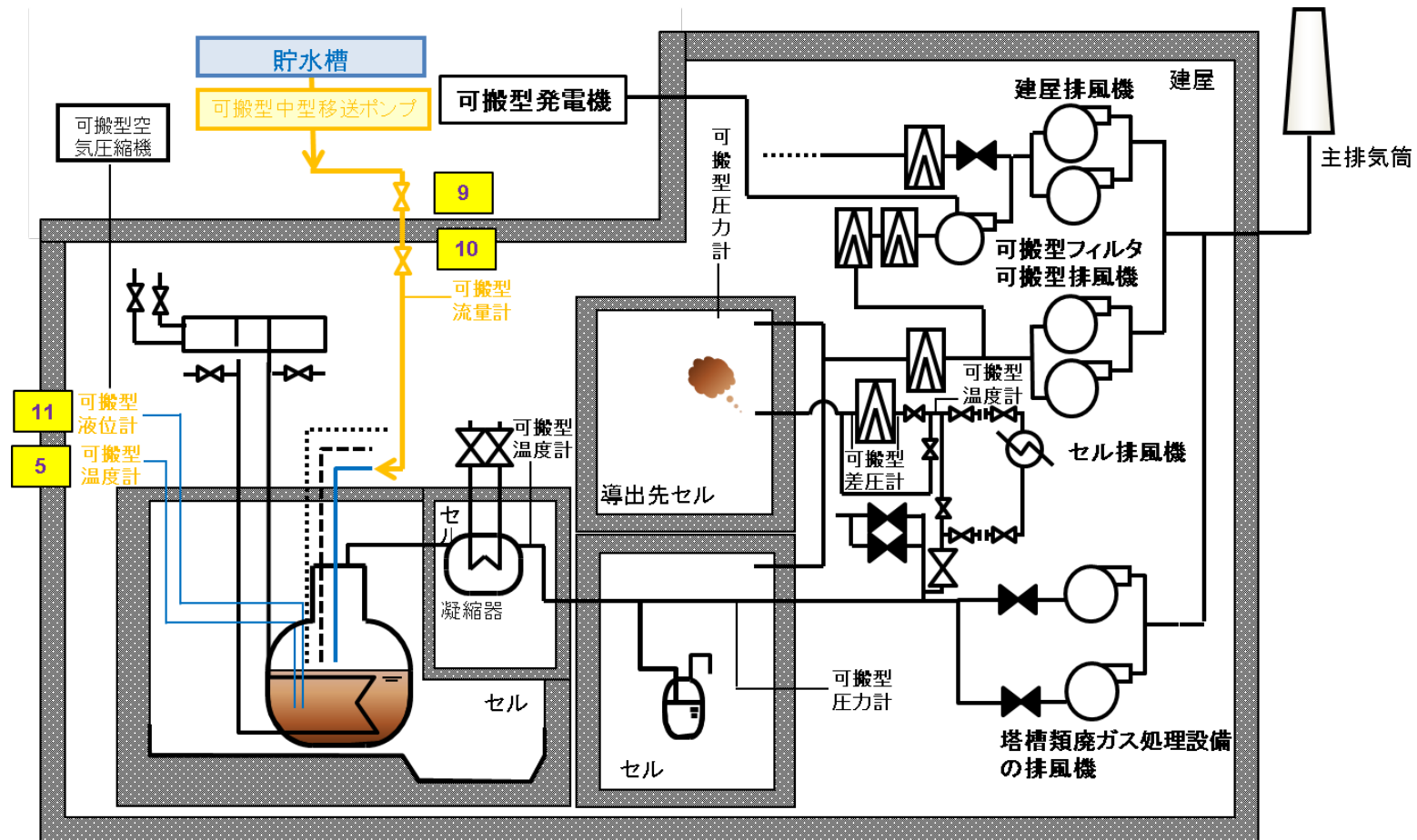
第 2. - 1 図 前処理建屋の貯水槽から機器への注水策概要図

<p>9 ホース敷設、ホース接続</p> <p>【作業概要】 計量前中間貯槽等へ屋外から注水するためのホース敷設、可搬型流量計設置等を実施する</p> 	<p>11 漏えい確認等／貯槽注水</p> <p>【作業概要】 計量前中間貯槽等への供給弁を閉止した状態で一度注水し、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。 計量前中間貯槽等への注水は、貯槽 可搬型液位計設置後、貯槽内液位の低下が確認された場合に、貯槽への注水を開始する。</p> 
<p>10 液位計測用ホース敷設、ホース接続、貯槽液位計設置</p> <p>12 貯槽液位計測</p> <p>【作業概要】 可搬型液位計を設置し、計量前中間貯槽内等の液位を確認する。</p> 	<p>5 貯槽温度測定</p> <p>【作業概要】 発生防止対策時に設置した可搬型温度計を用いて、計量前中間貯槽等の温度推移を確認する。</p> 

第 2. - 2 図 前処理建屋の貯水槽から機器への注水策概要

■ について商業機密上の観点から公開できません。

【分離建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（貯水槽から機器への注水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

水色: 対策で使用する系統(常設) 橙: 可搬型設備


第 2. - 3 図 分離建屋の貯水槽から機器への注水策概要図

9 **ホース敷設、ホース接続**



【作業概要】
高レベル廃液濃縮缶へ屋外から注水するため、建屋内にホースを敷設する。


5 **可搬型温度計による濃縮缶温度測定**



【作業概要】
発生防止対策時に設置した可搬型温度計を用いて、濃縮缶の温度推移を確認する。

10 **漏えい確認等／貯槽注水**

【作業概要】
高レベル廃液濃縮缶への供給弁を閉止した状態で一度注水し、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。
濃縮缶への注水は、貯槽液位計設置後、缶内液位の低下が確認された場合は、貯槽への注水を開始する。



11 **貯槽液位計設置(液位測定)**

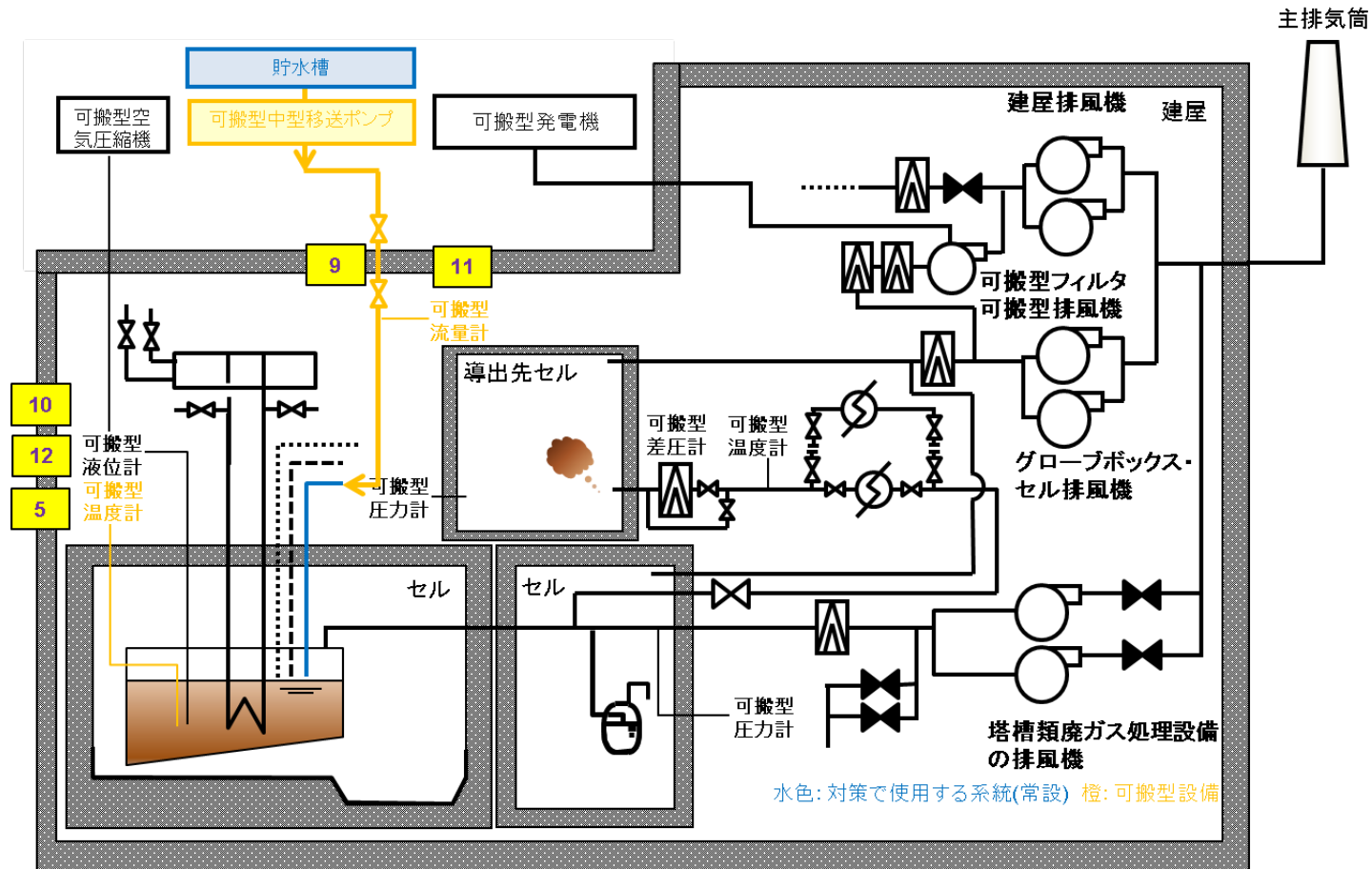
【作業概要】
可搬型液位計を設置し、高レベル廃液濃縮缶内の液位を確認する。



第 2. - 4 図 分離建屋の貯水槽から機器への注水策概要

■ について商業機密上の観点から公開できません。

【精製建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（貯水槽から機器への注水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. - 5 図 精製建屋の貯水槽から機器への注水策概要図

9 ホース敷設

【作業概要】
 プルトニウム濃縮液一時貯槽等へ屋外から注水するため、建屋内にホースを敷設する。

11 ホース接続、貯槽注水

【作業概要】
 プルトニウム濃縮液一時貯槽等への注水は、貯槽液位計設置後、状態監視を実施し貯槽液位の低下が確認された場合は、ホース接続を実施し貯槽への注水を開始する。

10 液位計測用ホース敷設、ホース接続、貯槽液位計設置

【作業概要】
 プルトニウム濃縮液一時貯槽等の液位を測定するため、建屋内に液位計測用ホースを敷設、接続し可搬型液位計を設置する。

12 貯槽液位測定

【作業概要】
 可搬型液位計を設置し、プルトニウム濃縮液一時貯槽等の液位を確認する。
 プルトニウム濃縮液一時貯槽等の注水時は、注水対象貯槽の液位を確認する。

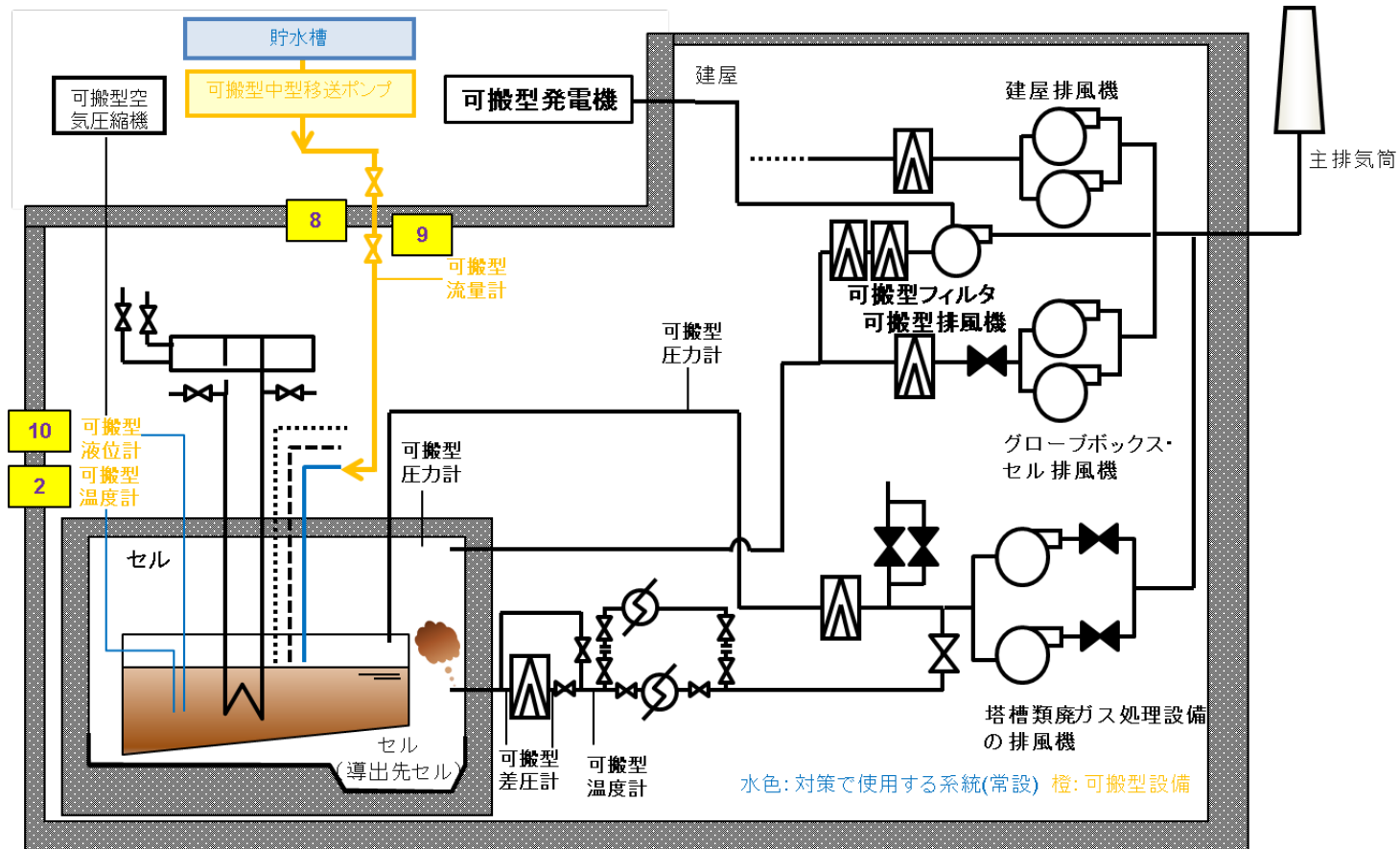
5 温度計測

【作業概要】
 発生防止対策時に設置した可搬型温度計を用いて、対象貯槽の温度推移を確認する。

第 2. - 6 図 精製建屋の貯水槽から機器への注水策概要

■ について商業機密上の観点から公開できません。

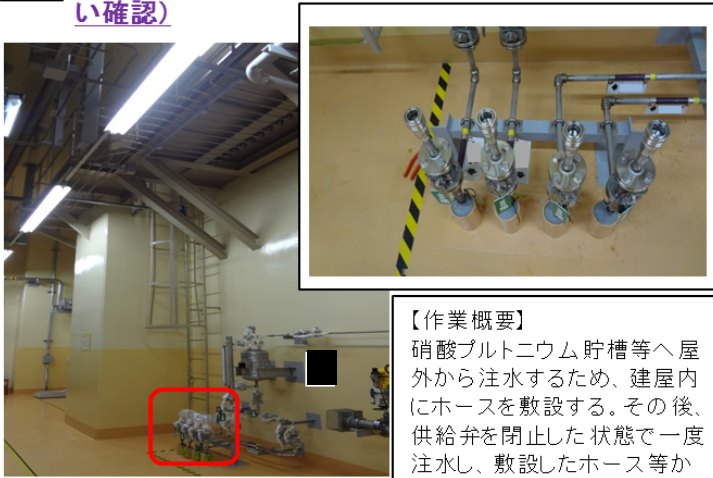
【ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（貯水槽から機器への注水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

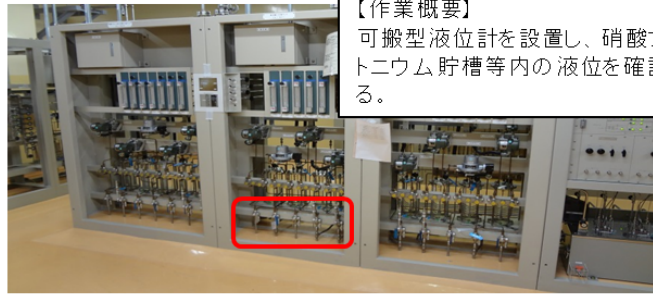
第 2. - 7 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の貯水槽から機器への注水策概要図

8 貯槽注水準備(ホース敷設、ホース接続、弁操作、漏えい確認)



【作業概要】
硝酸プルトニウム貯槽等へ屋外から注水するため、建屋内にホースを敷設する。その後、供給弁を閉止した状態で一度注水し、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。


10 貯槽液位計設置(液位計測)




【作業概要】
可搬型液位計を設置し、硝酸プルトニウム貯槽等内の液位を確認する。

9 弁操作、貯槽注水

【作業概要】
硝酸プルトニウム貯槽等への注水は、貯槽液位計設置後、貯槽内液位の低下が確認された場合は、貯槽への注水を開始する。



2 温度計設置(可搬型温度計による貯槽温度測定、温度確認)

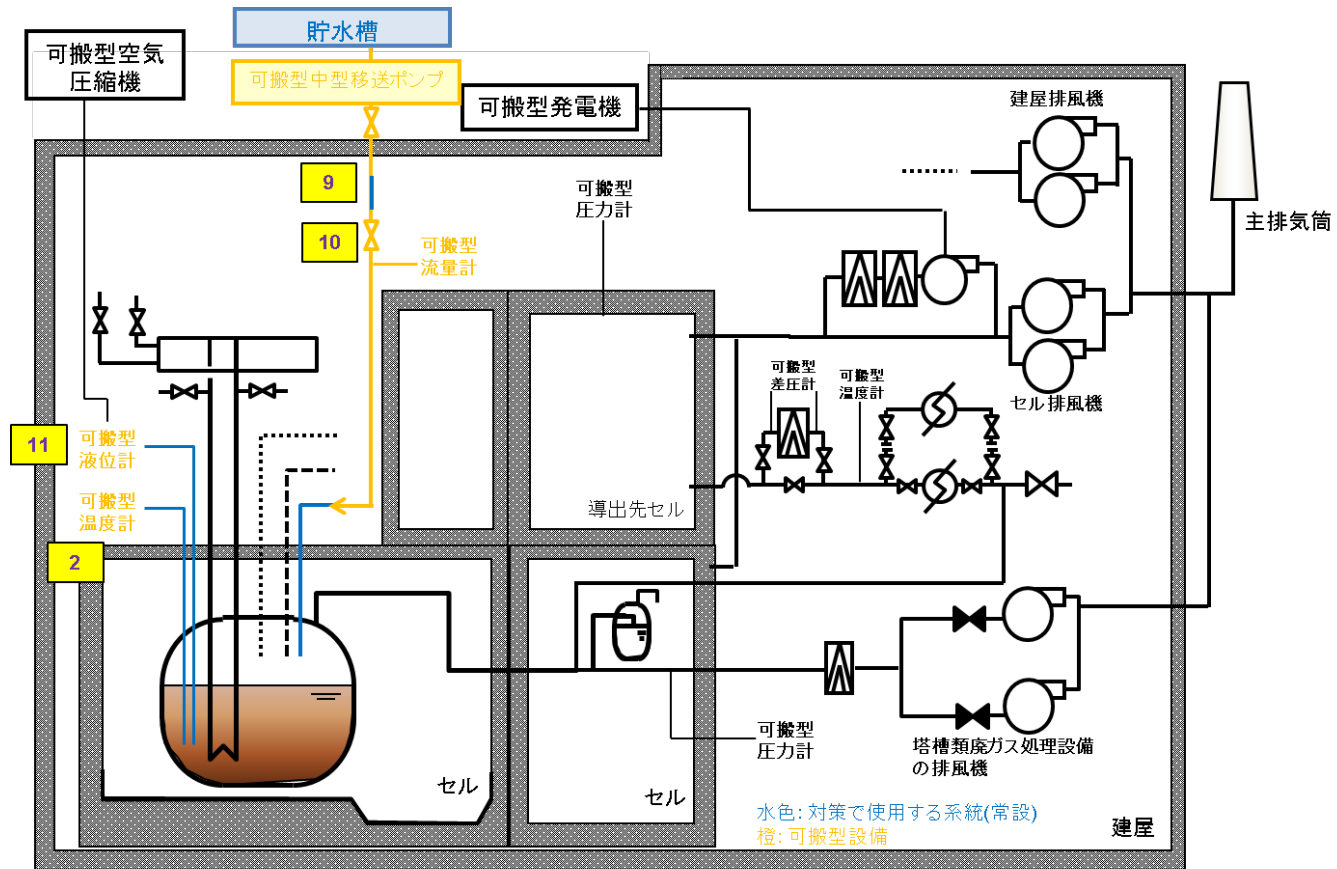


【作業概要】
発生防止対策時に設置した可搬型温度計を用いて、対象貯槽の温度推移を確認する。

第2. - 8 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の貯水槽から機器への注水策概要

■ について商業機密及び核不拡散上の観点から公開できません。

【高レベル廃液ガラス固化建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（貯水槽から機器への注水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. - 9 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の貯水槽から機器への注水策概要図

9 **ホース敷設、ホース接続**

【作業概要】
対象貯槽へ屋外から注水するため、建屋内にホースを敷設する。




10 **漏えい確認等／貯槽注水**

【作業概要】
敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。
対象貯槽への注水は、貯槽液位計設置後、槽内液位の低下が確認された場合に、貯槽への注水を開始する。



2 **温度計測**

【作業概要】
発生防止対策時に設置した可搬型温度計を用いて、対象貯槽の温度推移を確認する。



11 **貯槽液位計設置及び液位計測**

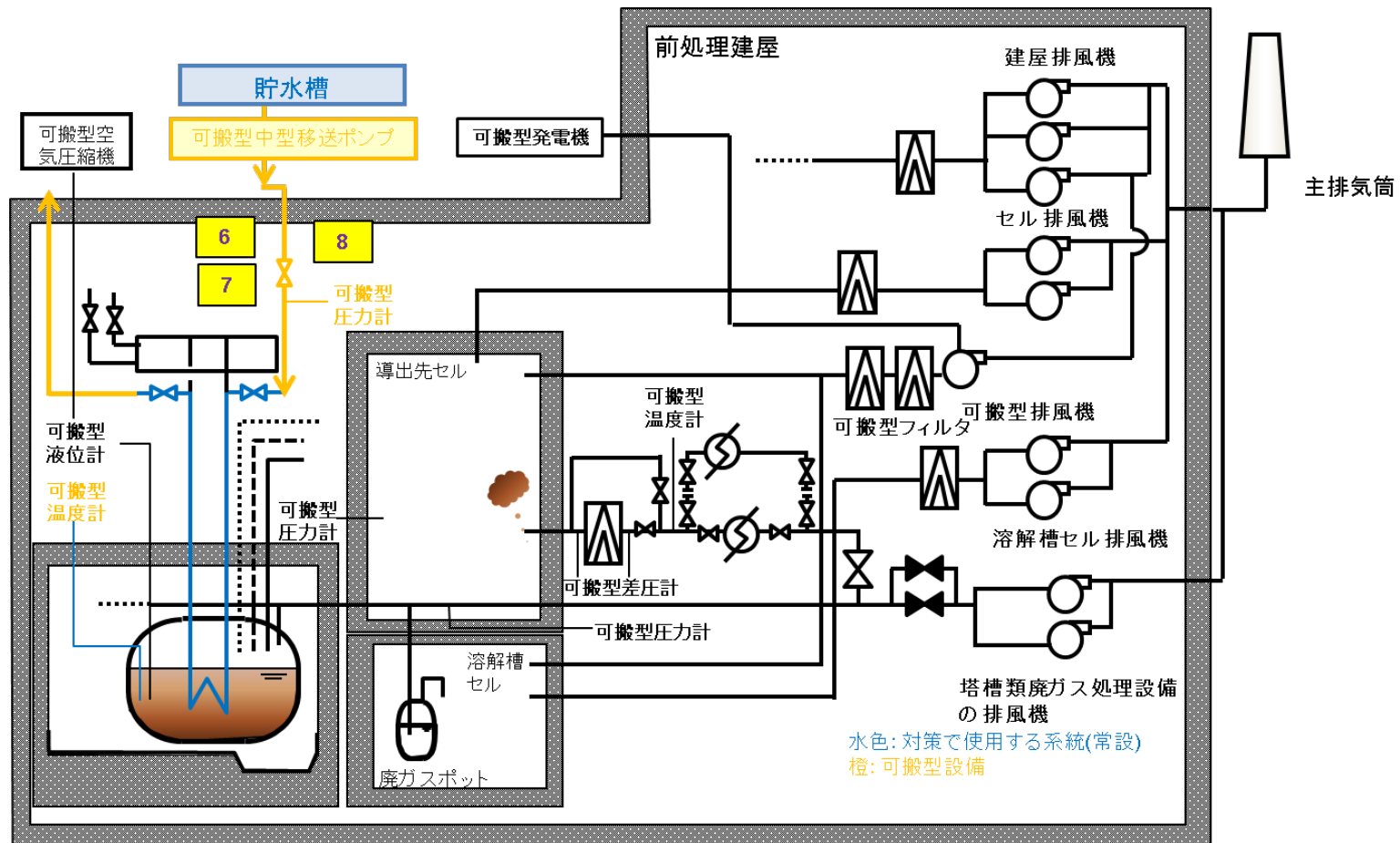
【作業概要】
可搬型液位計を設置し、対象貯槽内の液位を確認する。



第 2. -10 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の貯水槽から機器への注水策概要

■ について商業機密上の観点から公開できません。

【前処理建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（冷却コイル等通水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. - 11 図 前処理建屋の冷却コイル等通水概要図

6 冷却コイル通水準備(ホース敷設、ホース接続)

【作業概要】

冷却水を供給するための建屋内ホースを敷設する。その後、出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水経路の健全性及び敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。

7 冷却コイル通水準備(弁隔離)

8 冷却コイル通水(弁操作、漏えい確認)

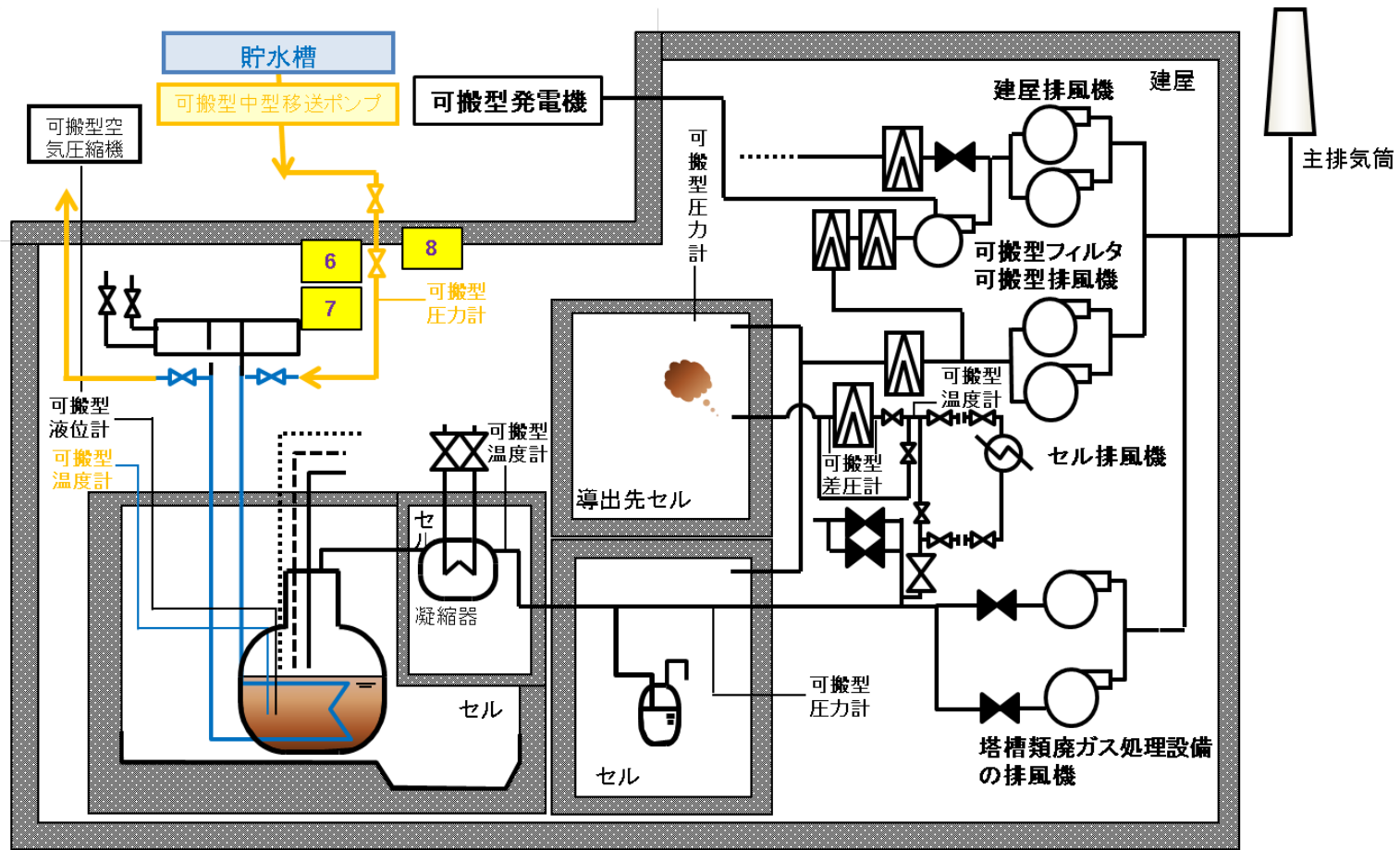
【作業概要】

通水を実施するための弁隔離等を実施する。その後弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



第 2. -12 図 前処理建屋の冷却コイル等通水概要

【分離建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（冷却コイル等通水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

水色: 対策で使用する系統(常設) 橙: 可搬型設備

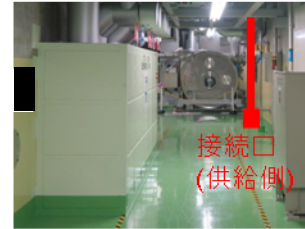
第 2. - 13 図 分離建屋の冷却コイル等通水概要図

6

冷却コイル通水準備(ホース敷設、ホース接続)

【作業概要】

冷却水を供給するための建屋内ホースを敷設する。その後、出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水経路の健全性及び敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



7

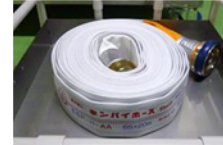
冷却コイル通水準備(弁隔離)

8

冷却コイル通水(弁操作、漏えい確認)

【作業概要】

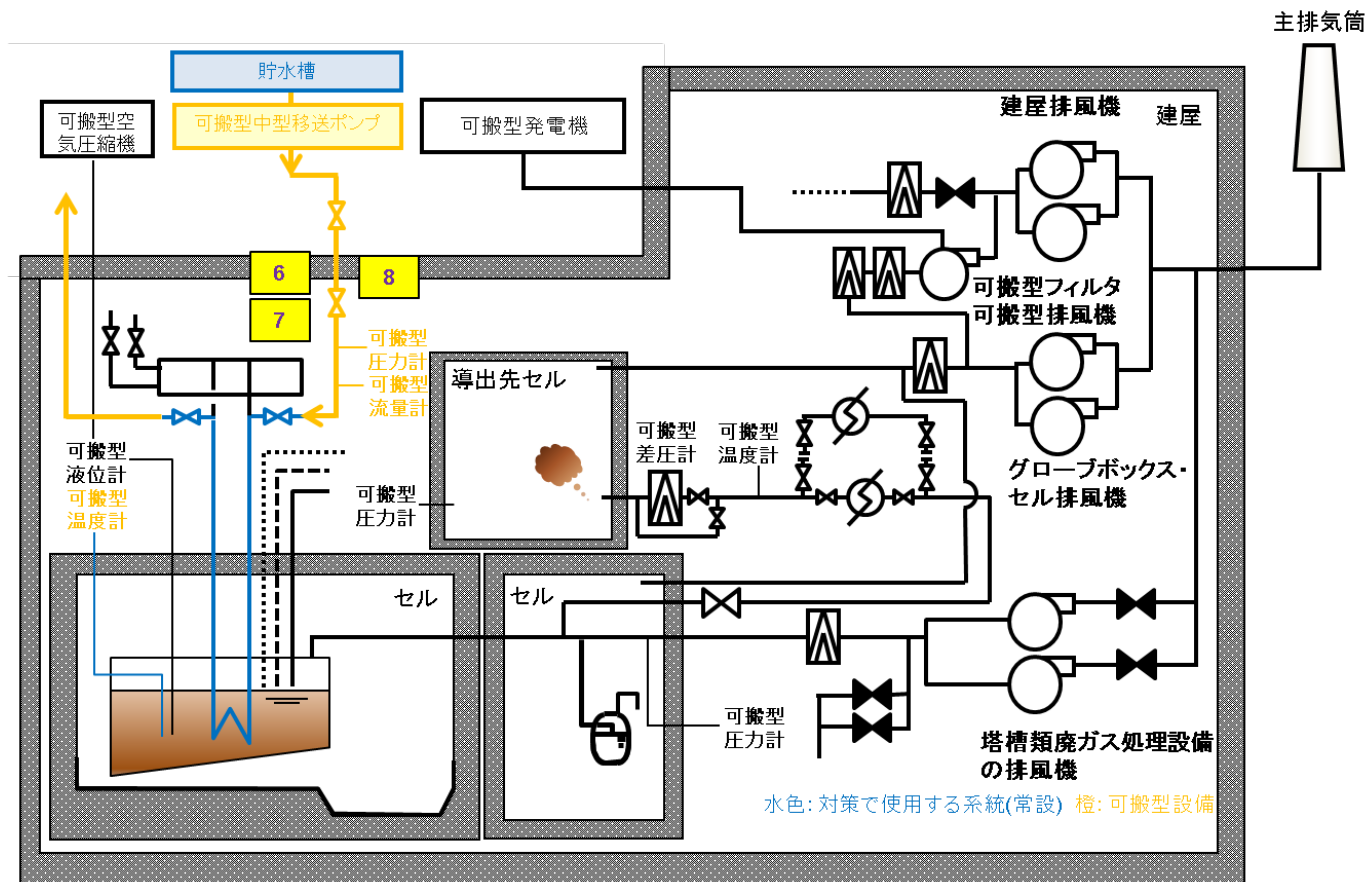
通水を実施するための弁隔離等を実施する。その後弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



第 2. - 14 図 分離建屋の冷却コイル等通水概要

■について商業機密上の観点から公開できません。

【精製建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（冷却コイル等通水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. - 15 図 精製建屋の冷却コイル等通水概要図

6 冷却コイル通水準備(ホース敷設、ホース接続)

【作業概要】

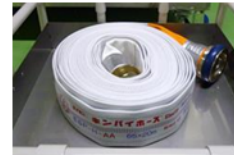
冷却水を供給するための建屋内ホースを敷設する。その後、出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水システムの健全性及び敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。

7 冷却コイル通水準備(弁隔離)

8 冷却コイル注水(弁操作、漏えい確認)

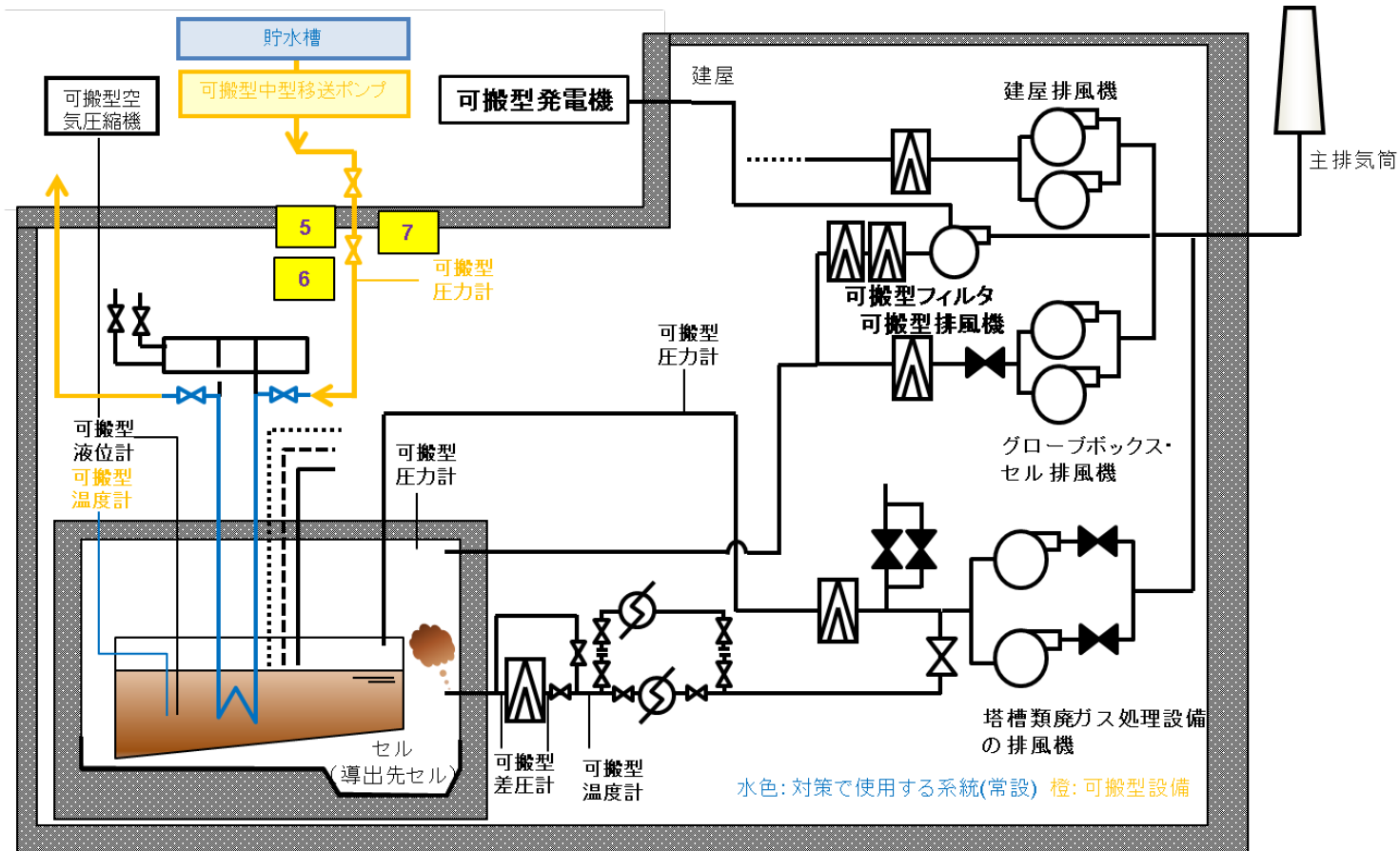
【作業概要】

通水を実施するための弁隔離等を実施する。その後弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



第 2. -16 図 精製建屋の冷却コイル等通水概要

【ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（冷却コイル等通水）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. -17 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の冷却コイル等通水概要図

5

冷却ジャケット通水準備(ホース敷設、ホース接続)

【作業概要】

冷却水を供給するための建屋内ホースを敷設する。その後、出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水システムの健全性及び敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。

6

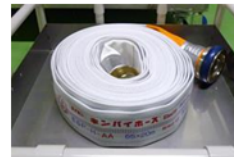
冷却ジャケット通水準備(弁隔離)

7

冷却ジャケット通水(弁操作、漏えい確認)

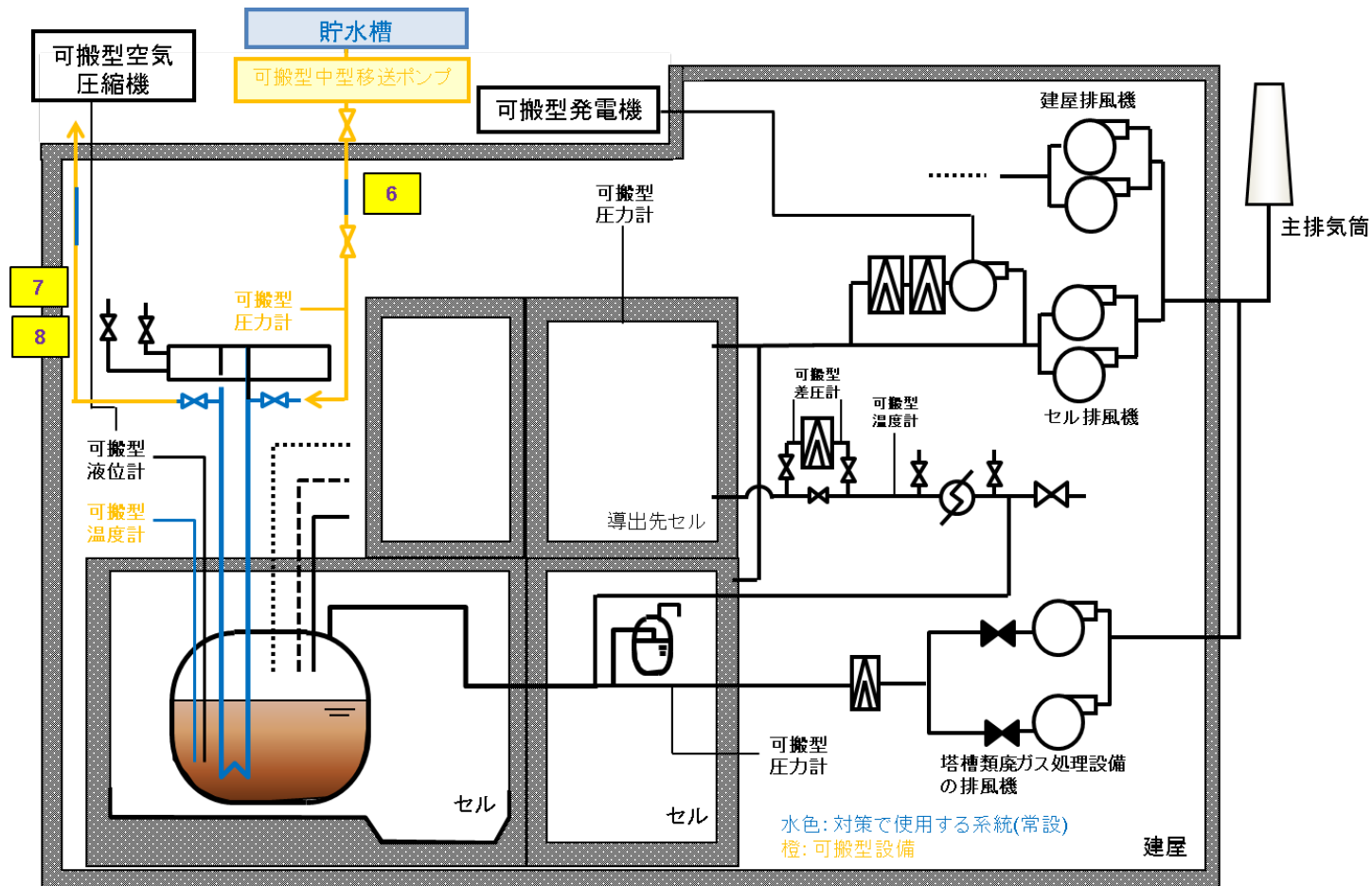
【作業概要】

通水を実施するための弁隔離等を実施する。その後弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



第 2. -18 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の冷却コイル等通水概要

【高レベル廃液ガラス固化建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（冷却コイル等通水）の概要】

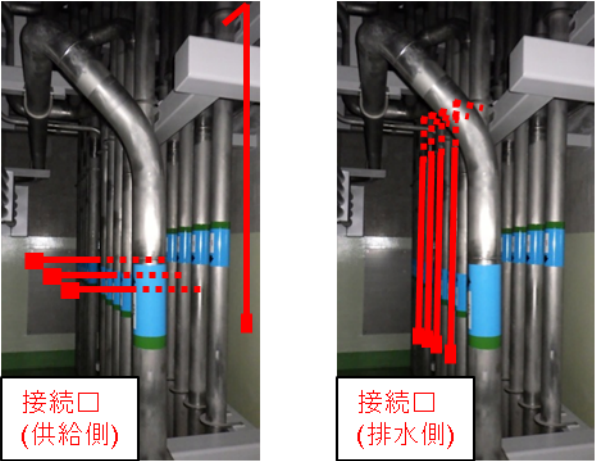


※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. - 19 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の冷却コイル等通水概要図

6 冷却コイル通水準備(ホース敷設、ホース接続)

【作業概要】
冷却水を供給するための建屋内ホースを敷設する。




接続口
(供給側)

接続口
(排水側)

7 冷却コイル通水準備(弁隔離)

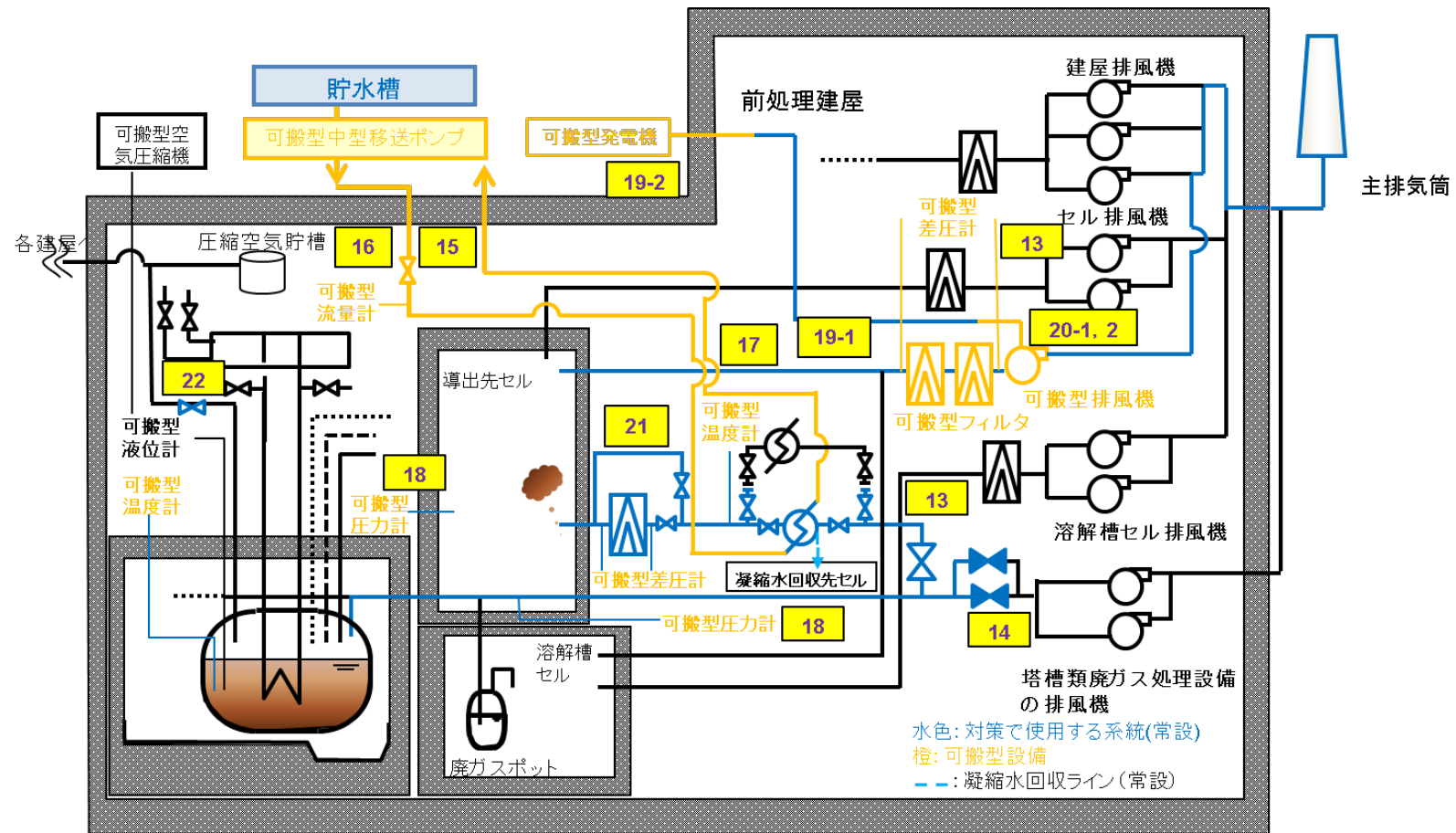
8 冷却コイル通水(弁操作、漏えい確認)

【作業概要】
通水を実施するための弁隔離等を実施する。その後弁を徐々に開とし通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



第 2. -20 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の冷却コイル等通水概要

【前処理建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（放出低減対策）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第 2. - 21 図 前処理建屋の放出低減対策概要図

13 排気経路構築(ダンパ閉止等)



【作業概要】
廃ガス中に含まれる放射性物質を極力低減させて大気中へ放出するため、ダンパ閉止等により排気経路構築を行う。

14 隔離弁の操作



【作業概要】
前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備の隔離弁を閉止し、前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットの隔離弁を開放することで、前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備内の雰囲気セルへ導出する。

15 凝縮器通水準備(ホース敷設、ホース接続、弁操作)

【作業概要】
凝縮器へ屋外から通水し、機器からの蒸発蒸気を凝縮させるために、建屋内の接続口までホースを敷設する。
外部からの通水を実施するための弁隔離等を実施する。

16 凝縮器通水、漏えい確認及び流量等監視

【作業概要】
出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水系統の健全性を確認した後に、出口弁を開として通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。
また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。

17 計器監視(流量、圧力、温度、液位)



【作業概要】
蒸発乾固の発生の防止のための措置、蒸発乾固の拡大の防止のための措置後に、機器の状態を監視するため、定期的に流量、液位、温度、圧力を確認する。

第 2. -22 図 前処理建屋の放出低減対策概要 (その 1)

18 セル内圧力設置及び廃ガス洗浄塔入口圧力計設置

19-1 可搬型ダクト、可搬型フィルタ設置、ケーブル敷設、可搬型排風機設置




可搬型フィルタ

【作業概要】
塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を導入したセルの圧力及びセル導出時の圧力を監視するため、可搬型圧力計を設置する。
セルに導入した塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を排気するため、可搬型フィルタ、可搬型排風機及び可搬型ダクトを接続する。



可搬型ダクト

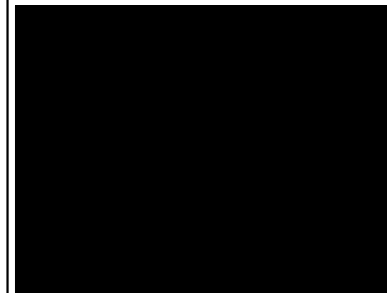


可搬型排風機

19-2 可搬型発電機起動

20-1 可搬型排風機運転準備

20-2 セル内圧力計確認、可搬型排風機運転



【作業概要】
可搬型排風機により、セルに導入された放射性物質等を排気するため、可搬型発電機からの給電ケーブルを接続(給電)し、可搬型排風機を運転する。

可搬型発電機



21 切替えの弁操作

【作業概要】
溶液が沸騰した後、高性能粒子フィルタの差圧が上昇傾向を示した場合、バイパスラインへ切り替える。

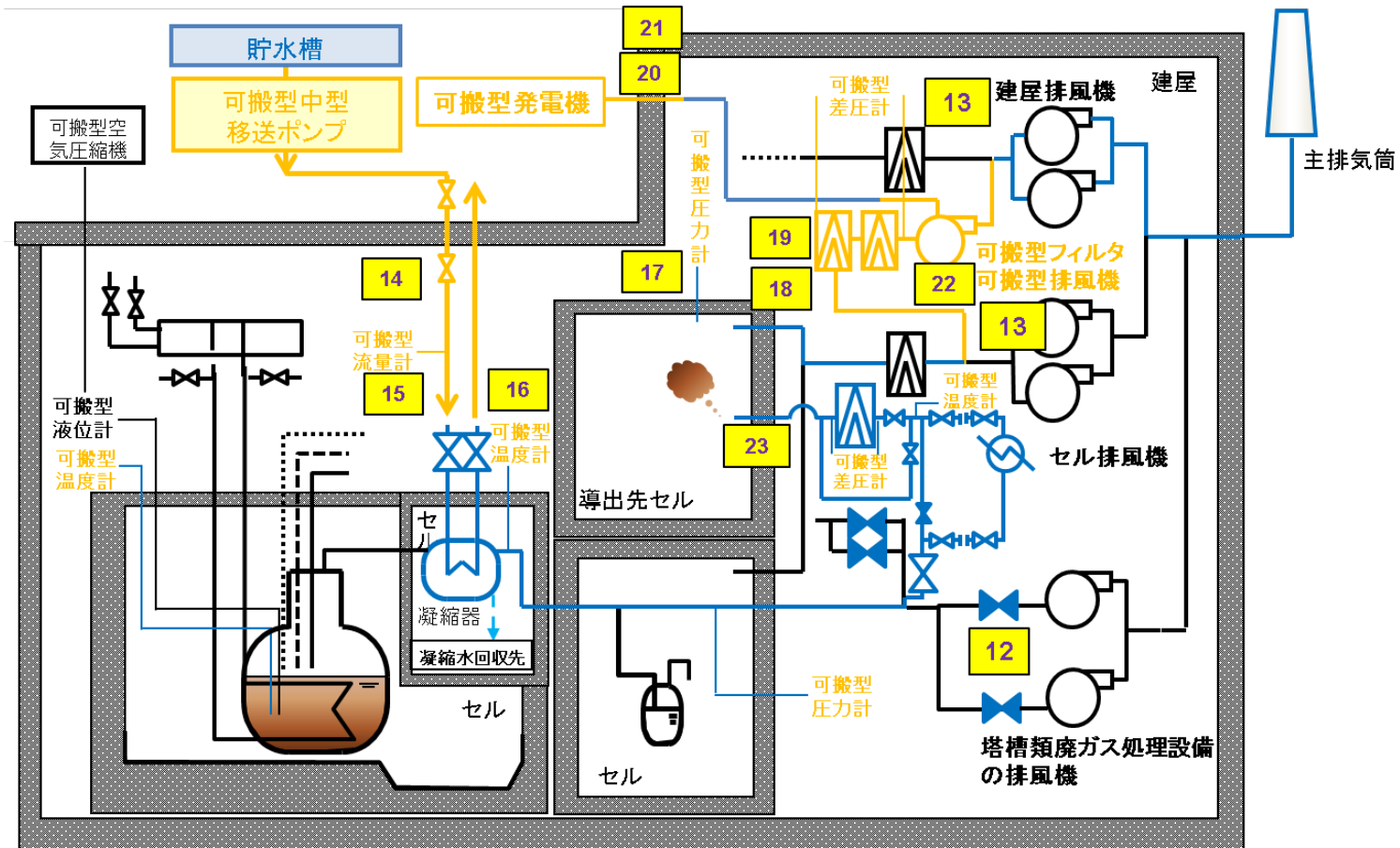
22 水素掃気用安全圧縮空気系の手動弁を閉止

【作業概要】
水素掃気用の圧縮空気の供給継続による大気中への放射性物質の放出を低減するため、前処理建屋の機器へ圧縮空気を供給する水素掃気用安全圧縮空気系の手動弁を閉止する。

第 2. -23 図 前処理建屋の放出低減対策概要 (その 2)

■ について核不拡散上の観点から公開できません。

【分離建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（放出低減対策）の概要】




※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

水色: 対策で使用する系統(常設) 橙: 可搬型設備

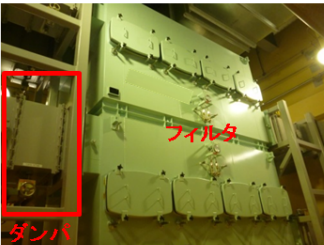
第 2. - 24 図 分離建屋の放出低減対策概要図

12 隔離弁の操作




【作業概要】
分離建屋塔槽類廃ガス処理設備の隔離弁を閉止し、分離建屋塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットの隔離弁を開放することで、分離建屋塔槽類廃ガス処理設備内の雰囲気セルへ導出する。

13 排気経路構築 (ダンパ閉止等)



【作業概要】
廃ガス中に含まれる放射性物質を極力低減させて大気中へ放出するため、ダンパ閉止等により排気経路構築を行う。

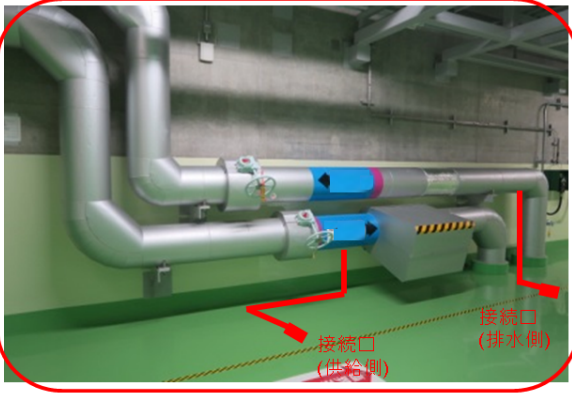

15 漏えい確認等/凝縮器通水



【作業概要】
出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水系統の健全性を確認した後に、出口弁を開として通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。
また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。

14 ホース敷設、ホース接続、弁操作

【作業概要】
凝縮器へ屋外から通水し、高レベル廃液濃縮缶からの蒸発蒸気を凝縮させるために、建屋内の接続口までホースを敷設する。
外部からの通水を実施するための弁隔離等を実施する。

16 計器監視(液位、温度、圧力、流量)



【作業概要】
蒸発乾固の発生防止のための措置、蒸発乾固の拡大防止のための措置後に、高レベル廃液濃縮缶の状態を監視するため、定期的に流量、液位、温度、圧力を確認する。

第 2. - 25 図 分離建屋の放出低減対策概要 (その 1)

17 セル内及び廃ガス洗浄塔入口圧力計設置

18 可搬型ダクト設置

19 可搬型排風機、可搬型フィルタ設置

【作業概要】
 塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を導入したセルの圧力及びセル導出時の圧力を監視するため、可搬型圧力計を設置する。
 セルに導入した塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を排気するため、可搬型フィルタ、可搬型排風機及び可搬型ダクトを接続する。



可搬型排風機

可搬型フィルタ

可搬型ダクト


接続口

20 ケーブル敷設

21 可搬型発電機起動準備、可搬型排風機運転準備

22 セル内圧力計確認/可搬型排風機運転

【作業概要】
 可搬型排風機により、セルに導入された放射性物質等を排気するため、可搬型発電機からの給電ケーブルを接続(給電)し、可搬型排風機を運転する。



ケーブル

可搬型発電機

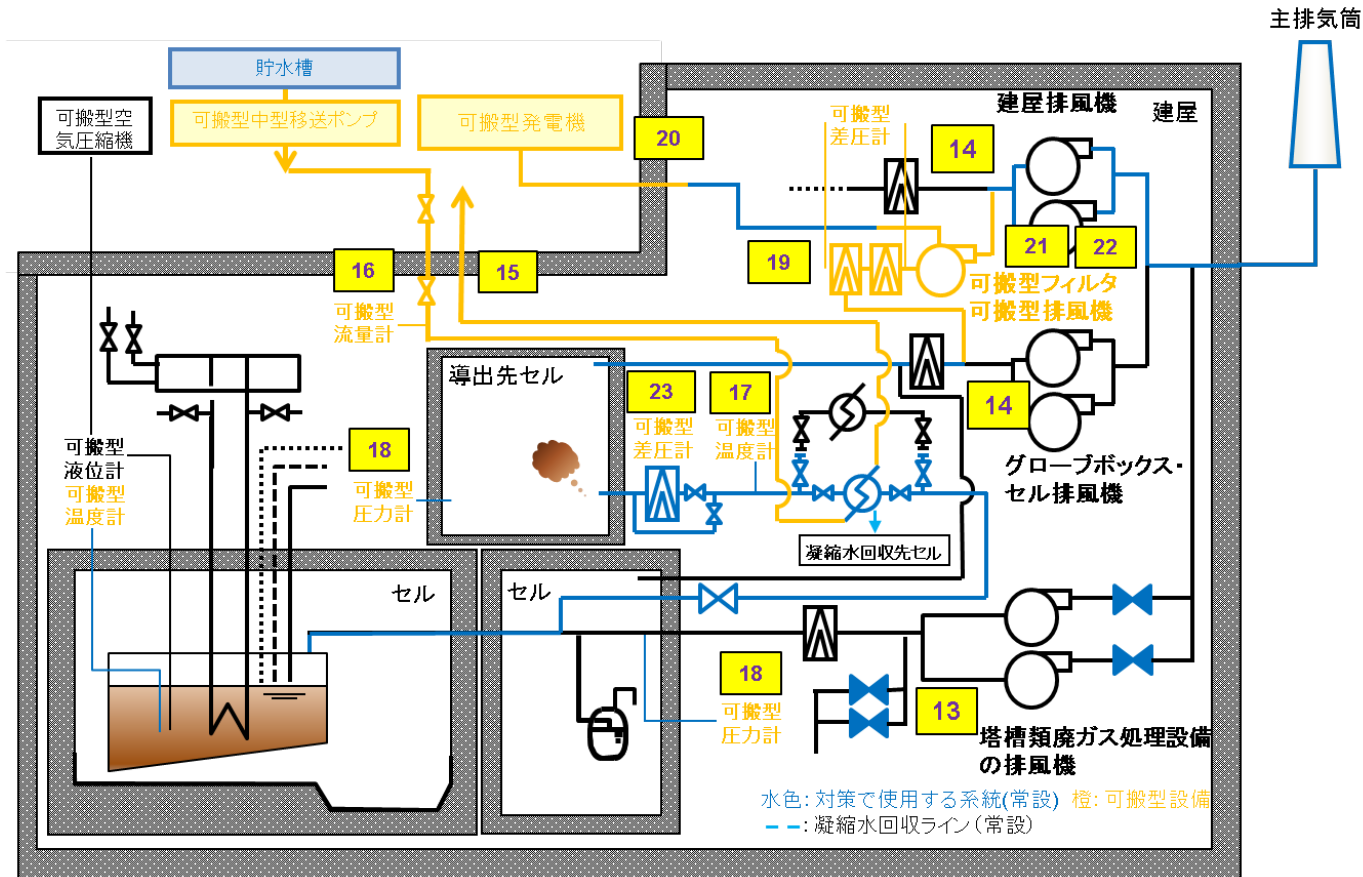
23 切替えの弁操作

【作業概要】
 溶液が沸騰した後、高性能粒子フィルタの差圧が上昇傾向を示した場合、バイパスラインへ切り替える。

第 2. - 26 図 分離建屋の放出低減対策概要 (その 2)

■ について商業機密及び核不拡散上の観点から公開できません。

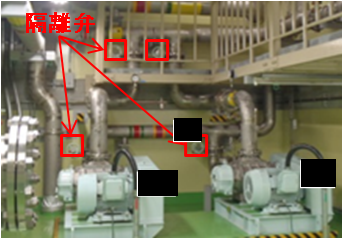
【精製建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（放出低減対策）の概要】



※: 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

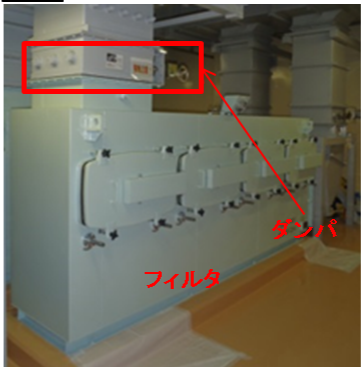
第 2. - 27 図 精製建屋の放出低減対策概要図

13 隔離弁の操作



【作業概要】
精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の隔離弁を閉止し、精製建屋塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットの隔離弁を開放することで、精製建屋塔槽類廃ガス処理設備内の雰囲気セルへ導出する。

14 排気経路構築（ダンパ閉止等）



【作業概要】
廃ガス中に含まれる放射性物質を極力低減させて大気中へ放出するため、ダンパ閉止等により排気経路構築を行う。

15 ホース敷設、ホース接続

【作業概要】
凝縮器へ屋外から通水し、機器からの蒸発蒸気を凝縮させるために、建屋内の接続口までホースを敷設する。

16 漏えい確認等／凝縮器通水

【作業概要】
出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水システムの健全性を確認した後に、出口弁を開として通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。
また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



17 計器監視(液位、温度、圧力、流量)



【作業概要】
蒸発乾固の発生の防止のための措置、蒸発乾固の拡大の防止のための措置後に、プルトニウム濃縮液一時貯槽等の状態を監視するため、定期的に流量、液位、温度、圧力を確認する。

第 2. - 28 図 精製建屋の放出低減対策概要（その 1）

■について商業機密上の観点から公開できません。

18 セル内圧力計設置及び廃ガス洗浄塔入口圧力計設置

19 可搬型ダクト、可搬型排風機、可搬型フィルタの設置

【作業概要】
 塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を導入したセルの圧力及びセル導出時の圧力を監視するため、可搬型圧力計を設置する。
 セルに導入した塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を排気するため、可搬型フィルタ、可搬型排風機及び可搬型ダクトを接続する。

20 ケーブル敷設及び接続、可搬型発電機起動

21 可搬型排風機運転準備

22 セル内圧力確認/可搬型排風機起動

【作業概要】
 可搬型排風機により、セルに導入された放射性物質等を排気するため、可搬型発電機からの給電ケーブルを接続(給電)し、可搬型排風機を運転する。

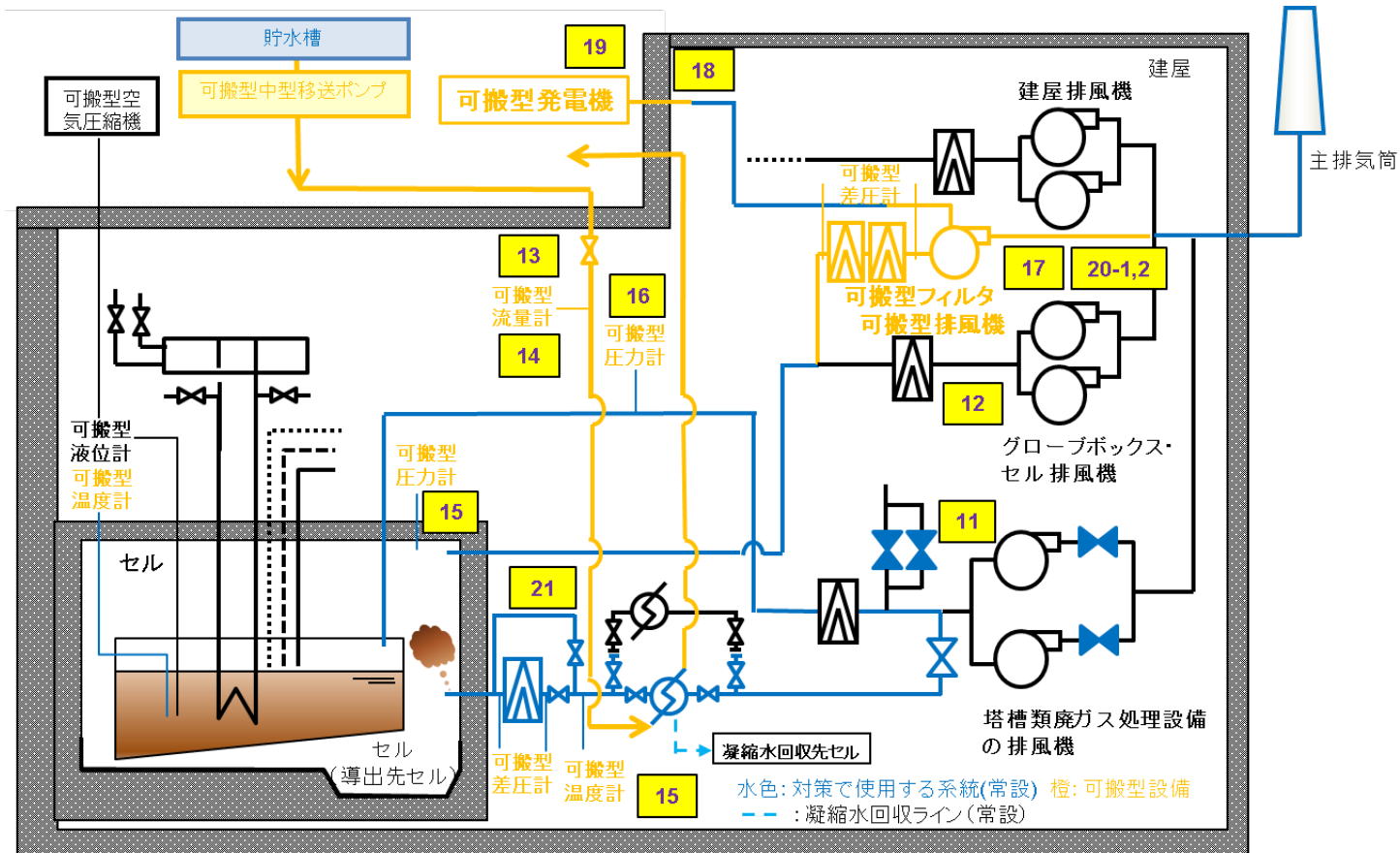
23 切替えの弁操作

【作業概要】
 溶液が沸騰した後、高性能粒子フィルタの差圧が上昇傾向を示した場合、バイパスラインへ切り替える。

第 2. - 29 図 精製建屋の放出低減対策概要 (その 2)

■ について核不拡散上の観点から公開できません。

【ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（放出低減対策）の概要】



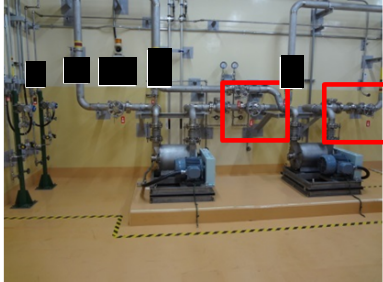
※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

第2-30図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の放出低減対策概要図

11 隔離弁の操作

【作業概要】

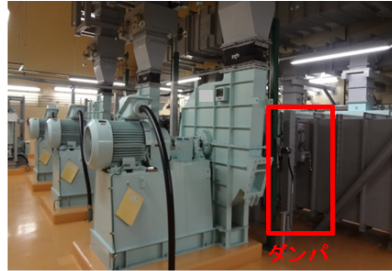
塔槽類廃ガス処理設備の隔離弁を閉止し、塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットの隔離弁を開放することで、塔槽類廃ガス処理設備内の雰囲気セルへ導出する。



12 排気経路構築(ダンパ閉止等)

【作業概要】

廃ガス中に含まれる放射性物質を極力低減させて大気中へ放出するため、ダンパ閉止等により排気経路構築を行う。



15 計器監視(液位、温度、圧力、流量)



【作業概要】

蒸発乾固の発生防止のための措置、蒸発乾固の拡大防止のための措置後後に、硝酸プルトニウム貯槽等の状態を監視するため、定期的に流量、液位、温度、圧力を確認する。

13 凝縮器通水準備(ホース敷設、ホース接続、弁操作、漏えい確認)

【作業概要】

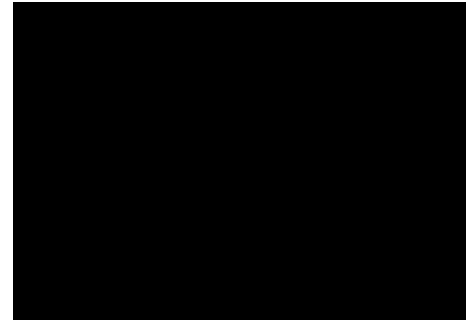
硝酸プルトニウム貯槽等からの沸騰蒸気を凝縮するための凝縮器に屋外から通水するため、建屋内の接続口までホースを敷設する。その後、出口弁を閉止した状態で一度通水し、凝縮器系統及び敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。



14 弁操作、凝縮器通水

【作業概要】

出口弁を開として通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。



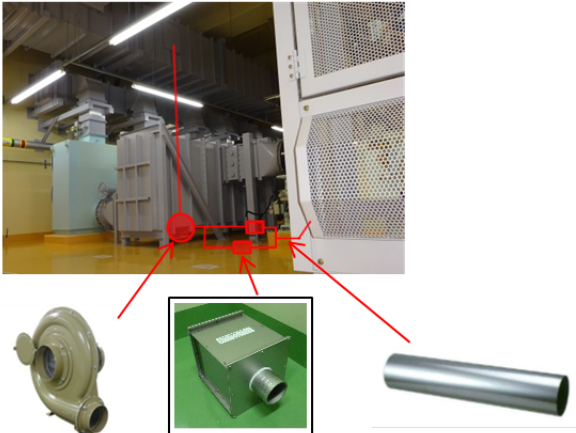
第2. -31 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の放出低減対策概要 (その1)

■ について商業機密及び核不拡散上の観点から公開できません。

16 セル内圧力計設置及び廃ガス洗浄塔入口圧力計設置

17 可搬型ダクト、可搬型排風機、可搬型フィルタ設置

【作業概要】
 塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を導入したセルの圧力及びセル導出時の圧力を監視するため、圧力計を設置する。
 セルに導入した塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を排気するため、可搬型フィルタ、可搬型排風機及び可搬型ダクトを接続する。



可搬型排風機 **可搬型フィルタ** **可搬型ダクト**

18 ケーブル敷設

19 可搬型発電機起動

20-1 可搬型排風機運転準備

20-2

【作業概要】
 可搬型排風機により、セルに導入された放射性物質等を排気するため、可搬型発電機からの給電ケーブルを接続(給電)し、可搬型排風機を運転する。



可搬型発電機

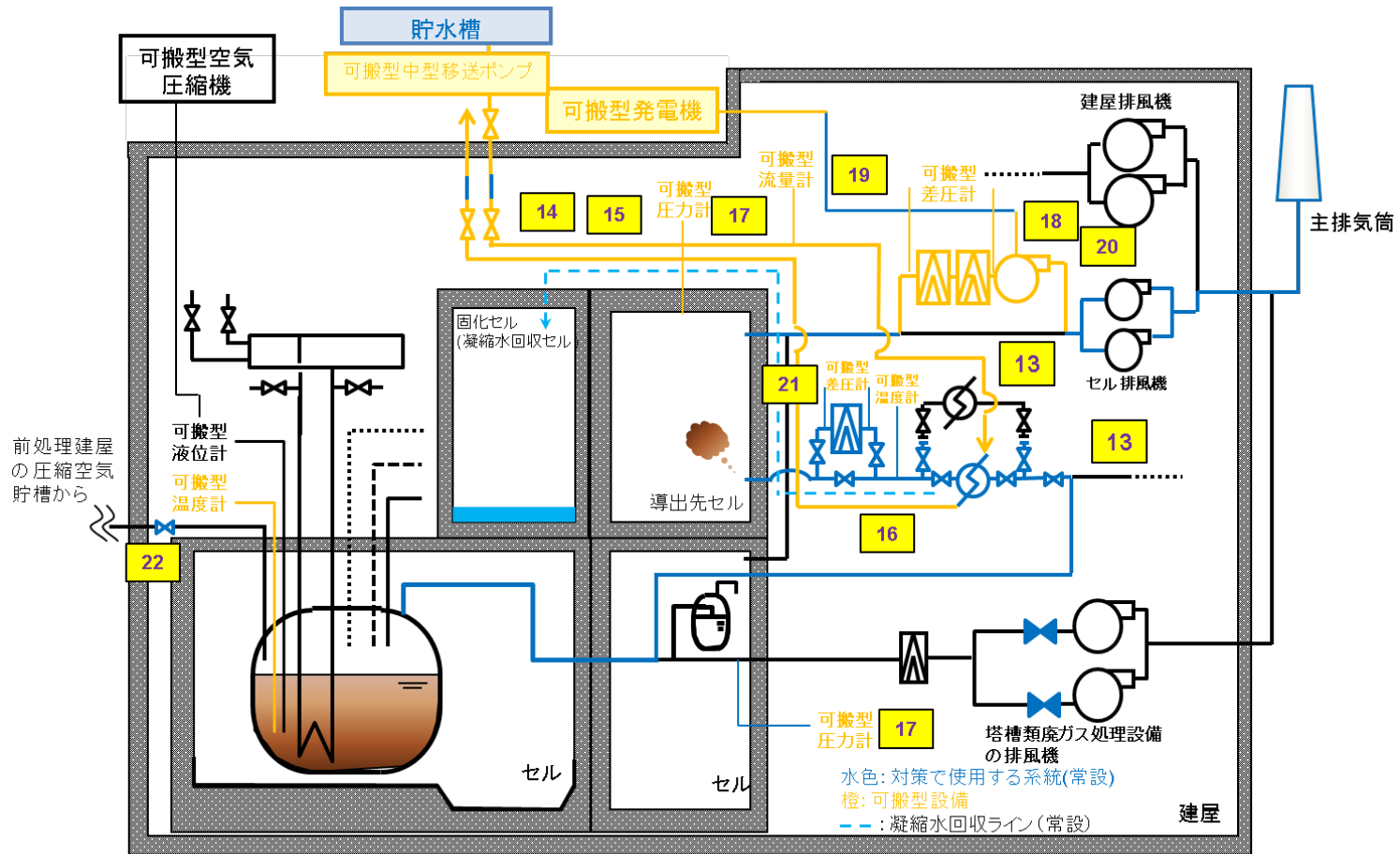
21 切替えの弁操作

【作業概要】
 溶液が沸騰した後、高性能粒子フィルタの差圧が上昇傾向を示した場合、バイパスラインへ切り替える。

第 2. - 32 図 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の放出低減対策概要 (その 2)

■について商業機密及び核不拡散上の観点から公開できません。

【高レベル廃液ガラス固化建屋の蒸発乾固の拡大の防止のための措置（放出低減対策）の概要】



※ 経路構成については、設計進捗により変更の可能性が有り

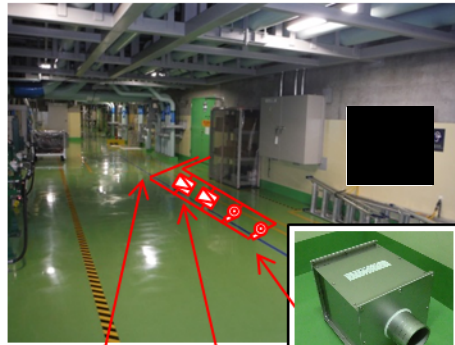
第 2. - 33 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の放出低減対策概要図

<p>12 隔離弁の操作</p>  <p>【作業概要】 高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備の隔離弁を閉止し、高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットの隔離弁を開放することで、塔槽類廃ガス処理設備内の雰囲気セルへ導出する。</p>	<p>13 排気経路構築（ダンパ閉止等）</p>  <p>【作業概要】 廃ガス中に含まれる放射性物質を極力低減させて大気中へ放出するため、ダンパ閉止等により排気経路構築を行う。</p>	<p>16 計器監視（液位、温度、圧力、流量）</p>  <p>【作業概要】 蒸発乾固の発生の防止のための措置、蒸発乾固の拡大の防止のための措置後に、機器の状態を監視するため、定期的に流量、液位、温度、圧力を確認する。</p>
<p>14 ホース敷設、ホース接続、弁操作</p> <p>【作業概要】 凝縮器へ屋外から通水し、機器からの蒸発蒸気を凝縮させるために、建屋内の接続口までホースを敷設する。 外部からの通水を実施するための弁隔離等を実施する。</p> <p>15 漏えい確認等／凝縮器通水</p> <p>【作業概要】 出口弁を閉止した状態で一度通水して加圧し、通水システムの健全性を確認した後に、出口弁を開として通水を開始する。必要に応じて通水流量を調整する。 また、敷設したホース等からの漏えいがないことを確認する。</p>		

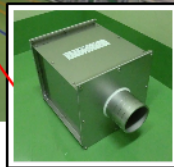
第 2. - 34 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の放出低減対策概要（その 1）

17 セル内及び廃ガス洗浄塔入口圧力計設置

18 可搬型排風機、可搬型フィルタ、可搬型ダクト設置



【作業概要】
塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を導入したセルの圧力及びセル導出時の圧力を監視するため、可搬型圧力計を設置する。
セルに導出した塔槽類廃ガス処理設備の雰囲気を排気するため、可搬型フィルタ、可搬型排風機及び可搬型ダクトを接続する。



可搬型フィルタ



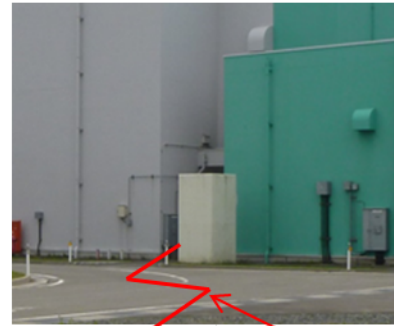
可搬型排風機



可搬型ダクト

19 ケーブル敷設、可搬型発電機起動

20 可搬型排風機運転準備及び可搬型排風機運転



【作業概要】
可搬型排風機により、セルに導出された放射性物質等を排気するため、可搬型発電機からの給電ケーブルを接続(給電)し、可搬型排風機を運転する。



可搬型発電機

ケーブル

21 切替えの弁操作

【作業概要】
溶液が沸騰した後、高性能粒子フィルタの差圧が上昇傾向を示した場合、バイパスラインへ切り替える。

22 水素掃気用安全圧縮空気系の手動弁を閉止

【作業概要】
水素掃気用の圧縮空気の供給継続による大気中への放射性物質の放出を低減するため、高レベル廃液ガラス固化建屋の機器へ圧縮空気を供給する水素掃気用安全圧縮空気系の手動弁を閉止する。

第 2. - 35 図 高レベル廃液ガラス固化建屋の放出低減対策概要 (その 2)

■ について商業機密上の観点から公開できません。

2. 1 蒸発乾固の拡大の防止のための措置の信頼性

2.1.1 貯水槽から機器への注水に使用する設備の設計

貯水槽から機器への注水に使用する系統は、位置的分散及び独立性を考慮した系統を4～6系統整備し、多重性を確保しており、1系統あたり1口を合計4～6口の接続口があるため、多様な空間を確保している。また、機器注水に使用する系統は、基準地震動を1.2倍にした地震動を考慮する設計とする。

整備した機器注水系統が使用できない場合に備え、機器への注水に使用できるその他の配管を予め選定し、当該配管に対して工具を用いて接続口を作成する手順を整備する。

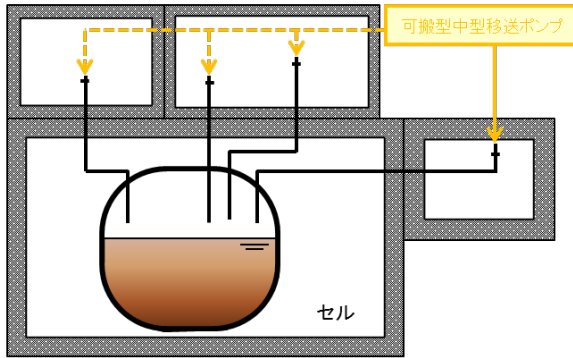
- ✓ 位置的分散及び独立性を考慮した系統を4～6系統整備 ⇒ 多重性確保
- ✓ 1系統あたり1口、合計4～6口の接続口を整備 ⇒ 注水のための多様な空間を確保
- ✓ 整備した機器注水系統が使用できない場合に備え、機器注水に使用できるその他の配管を予め選定し、当該配管に対してパイプカッターを用いて接続口を作成する手順を整備する。 ⇒ 注水のための多様な空間、手段を確保

○接続口の信頼性

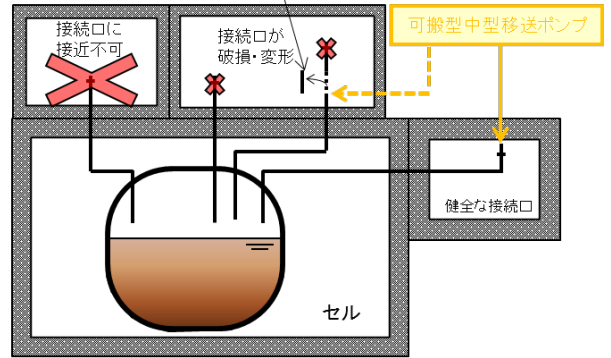
貯水槽から機器への注水に使用する配管は、以下の写真のようなものを複数の部屋に複数本用意している。これらの配管が使用できない状況として、周囲の構築物が倒壊し、接続口へ接近できないことを想定されるが、複数の部屋に接続口があることから機器注水可能である。

仮に全ての部屋で倒壊があり、接続口が変形・破損している場合でもパイプカッターで切断し、新たに接続口を作成することができる。

複数の部屋に接続口があり、機器注水を実施する。



配管を切断し機器注水も可能



拡大防止対策で使用する配管の例



接続口 20A配管



接続口 25A配管



接続口 40A配管



接続方法

第2. - 36 図 貯水槽から機器への注水の接続口概要図

○配管切断実証訓練

R-SUS304ULC 80A SCH20S (外径 89.1mm 厚さ 4.0mm) 配管を切断するまでに要した時間は約 15 分程度である。機器注水配管は 8A~40A 配管が多く、本実証訓練より作業量や作業時間は短縮できると考える。



配管: R-SUS304ULC 80A SCH20S
(外径89.1mm 厚さ4.0mm)



ラチェット式パイプカッター



セッティング～切断中



切断面
セッティングから切断に要した時間:約15分



小口径用ラチェット式パイプカッター
スリムな形状のため狭隙部でも切断可能である。



配管: SUS304 25A SCH20S
(外径34.0mm 厚さ3.0mm)
小口径配管切断



取付治具



接続口取付け
セッティング～接続口取り付けまでに
要した時間:約30分

第2. - 37 図 配管切断実証訓練

2.1.2 貯水槽から機器への注水に使用する設備の有効性について

蒸発乾固への対処は、安全冷却水系の冷却機能の喪失が発生した場合に実施するため、蒸発乾固への対処に使用する重大事故等対処施設には、安全冷却水系の冷却機能の喪失に伴って生じる環境条件の変化を想定した場合でも、必要な機能を有効に発揮することが求められる。

以下に、重大事故等対処施設が機能を発揮できることを説明する。

a. 温度

1) 常設重大事故等対処設備

貯水槽から機器への注水は、溶液の沸騰後に実施することから、その温度は最大でも溶液の沸点程度であり、設備の機能を損なうことはない。

2) 可搬型重大事故等対処設備

可搬型重大事故等対処設備は、直接溶液と接することではなく、外部から供給される冷却水を通水するのみである。外部から供給される水の温度は、外気温度以下であることから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 可搬型ホース（消防ホース）の耐熱温度 60℃に対し、外部から供給される水の温度は外気温度以下であることから、有意な影響はない。

b. 圧力

可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧が圧力条件として最も高いが、貯水槽から機器への注水に使用する設備の最高使用圧力以下の供給圧で冷却水を供給する運用とすることから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 可搬型ホース（消防ホース）の使用圧力が 1.6MPa 程度であるのに対し、可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧を 0.8MPa 以下とすることから、有意な影響はない。

c. 放射線

直接溶液と接する常設重大事故等対処設備における放射線影響は、平常運転時と同程度であり、設備の機能を損なうことはない。直接放射線と接しない可搬型重大事故等対処設備における放射線影響は、セル外で使用するためその影響は無視できることから、設備の機能を損なうことはない。

2.1.3 各建屋の各貯槽における蒸発量及び時間余裕

各建屋について蒸発量及び時間余裕について以下に示す。

第 2. - 1 表 前処理建屋における蒸発量及び時間余裕

機器名	崩壊熱 (W/m ³)	溶液量 (m ³)	単位時間当たりの 蒸発量 (m ³ /h)	時間余裕※ (h)
中継槽 A	600	7	6.8×10 ⁻³	410 時間
中継槽 B	600	7	6.8×10 ⁻³	410 時間
計量前中間貯槽 A	600	25	2.4×10 ⁻²	400 時間
計量前中間貯槽 B	600	25	2.4×10 ⁻²	400 時間
リサイクル槽 A	600	2	2.0×10 ⁻³	440 時間
リサイクル槽 B	600	2	2.0×10 ⁻³	440 時間
計量後中間貯槽	460	25	1.9×10 ⁻²	530 時間
計量・調整槽	460	25	1.9×10 ⁻²	520 時間
計量補助槽	460	7	5.2×10 ⁻³	520 時間
中間ポット A	460	■	1.3×10 ⁻⁴	420 時間
中間ポット B	460	■	1.3×10 ⁻⁴	420 時間

※ 冷却機能の喪失から溶液が公称容量の 70%になるまでの時間

■ について商業機密上の観点から公開できません。

第 2. - 2 表 分離建屋における蒸発量及び時間余裕

機器名	崩壊熱 (W/m ³)	溶液量 (m ³)	単位時間当たりの 蒸発量 (m ³ /h)	時間余裕※ (h)
高レベル廃液濃縮缶 A	5800	■	7.9×10^{-2}	62 時間
第 6 一時貯留処理槽	290	■	5.6×10^{-4}	920 時間
高レベル廃液供給槽 A	460	25	3.9×10^{-3}	2100 時間
溶解液中間貯槽	460	6	1.9×10^{-2}	520 時間
溶解液供給槽	290	15	4.5×10^{-3}	520 時間
抽出廃液受槽	290	20	7.0×10^{-3}	840 時間
抽出廃液中間貯槽	290	60	9.3×10^{-3}	840 時間
抽出廃液供給槽 A	290	60	2.8×10^{-2}	840 時間
抽出廃液供給槽 B	290	3	2.8×10^{-2}	850 時間
第 1 一時貯留処理槽	290	■	1.4×10^{-3}	900 時間
第 8 一時貯留処理槽	290	■	1.7×10^{-3}	900 時間
第 7 一時貯留処理槽	290	20	9.3×10^{-3}	900 時間
第 3 一時貯留処理槽	290	20	9.3×10^{-3}	850 時間
第 4 一時貯留処理槽	460	25	9.3×10^{-3}	850 時間

※ 冷却機能の喪失から溶液が公称容量の 70%になるまでの時間

第 2. - 3 表 精製建屋における蒸発量及び時間余裕

機器名	崩壊熱 (W/m ³)	溶液量 (m ³)	単位時間当たりの 蒸発量 (m ³ /h)	時間余裕※ (h)
プルトニウム濃縮液受槽	8600	1	1.4×10^{-2}	26 時間
リサイクル槽	8600	1	1.4×10^{-2}	26 時間
希釈槽	8600	2.5	3.5×10^{-2}	26 時間
プルトニウム濃縮液一時貯槽	8600	1.5	2.1×10^{-2}	26 時間
プルトニウム濃縮液計量槽	8600	1	1.4×10^{-2}	26 時間
プルトニウム濃縮液中間貯槽	8600	1	1.4×10^{-2}	26 時間
プルトニウム溶液受槽	930	■	1.4×10^{-3}	300 時間
油水分離槽	930	■	1.4×10^{-3}	300 時間
プルトニウム濃縮缶供給槽	930	3	4.5×10^{-3}	280 時間
プルトニウム溶液一時貯槽	930	3	4.5×10^{-3}	280 時間
第 2 一時貯留処理槽	930	1.5	2.2×10^{-3}	290 時間
第 3 一時貯留処理槽	930	1.5	4.5×10^{-3}	280 時間
第 1 一時貯留処理槽	930	3	2.2×10^{-3}	290 時間

※ 冷却機能の喪失から溶液が公称容量の 70%になるまでの時間

■ について商業機密上の観点から公開できません。

第2. - 4表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における
蒸発量及び時間余裕

機器名	崩壊熱 (W/m ³)	溶液量 (m ³)	単位時間当たりの 蒸発量 (m ³ /h)	時間余裕※2 (h)
硝酸プルトニウム貯槽	8600	1	1.4×10 ⁻²	33 時間
混合槽A	5300	1	8.5×10 ⁻³	57 時間
混合槽B	5300	1	8.5×10 ⁻³	57 時間
一時貯槽※1	8600	1	1.4×10 ⁻²	33 時間

※1 平常運転時は空運用（プルトニウム濃縮液を貯蔵している場合）

※2 冷却機能の喪失から溶液が公称容量の70%になるまでの時間

第2. - 5表 高レベル廃液ガラス固化建屋における蒸発量及び時間余裕

機器名	崩壊熱 (W/m ³)	溶液量 (m ³)	単位時間当たりの 蒸発量 (m ³ /h)	時間余裕※2 (h)
高レベル廃液混合槽A	3600	20	1.2×10 ⁻¹	79 時間
高レベル廃液混合槽B	3600	20	1.2×10 ⁻¹	79 時間
供給液槽A	3600	5	2.9×10 ⁻²	72 時間
供給液槽B	3600	5	2.9×10 ⁻²	72 時間
供給槽A	3600	2	1.2×10 ⁻²	72 時間
供給槽B	3600	2	1.2×10 ⁻²	72 時間
高レベル廃液共用貯槽※1	3200	120	6.2×10 ⁻¹	79 時間
第1高レベル濃縮廃液貯槽	3200	120	6.2×10 ⁻¹	73 時間
第2高レベル濃縮廃液貯槽	3200	120	6.2×10 ⁻¹	73 時間
第1高レベル濃縮廃液一時貯槽	3600	25	1.5×10 ⁻¹	73 時間
第2高レベル濃縮廃液一時貯槽	3600	25	1.5×10 ⁻¹	73 時間

※1 平常運転時は空運用（高レベル濃縮廃液を貯蔵している場合）

※2 冷却機能の喪失から溶液が公称容量の70%になるまでの時間

2.1.4 各建屋の貯水槽から機器への注水に必要な注水流量について

貯水槽から機器への注水は、蒸発量に対して3倍程度で供給したとしても、いずれの建屋も整備した可搬型中型移送ポンプ（容量 $240\text{m}^3/\text{h}$ ）を用いて注水することが可能である。また、十分な時間余裕があり、各建屋で時間余裕が一番短い貯水槽に対しても対処可能である。

各建屋の機器注水実施までの時間余裕（冷却機能の喪失から溶液が公称容量の70%になるまでの時間）、対策準備完了時間及び各建屋における機器注水流量（蒸発量に対して3倍程度で供給する流量）を第2-6表に示す。

第2-6表 各建屋の機器への注水に関する時間及び機器注水流量

建屋	注水までの時間※1	対策準備完了時間	注水流量※2 (m^3/h)
前処理建屋	400 時間	39 時間	約 3.3×10^{-1}
分離建屋	62 時間	14 時間 45 分	約 6.1×10^{-1}
精製建屋	26 時間	9 時間	約 4.0×10^{-1}
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	33 時間	16 時間	約 1.4×10^{-1}
高レベル廃液ガラス固化建屋	72 時間	20 時間 20 分	約 5.5

※1 冷却機能の喪失から溶液が公称容量の70%になるまでの時間

※2 各建屋の機器で蒸発量に対して3倍程度で供給する流量

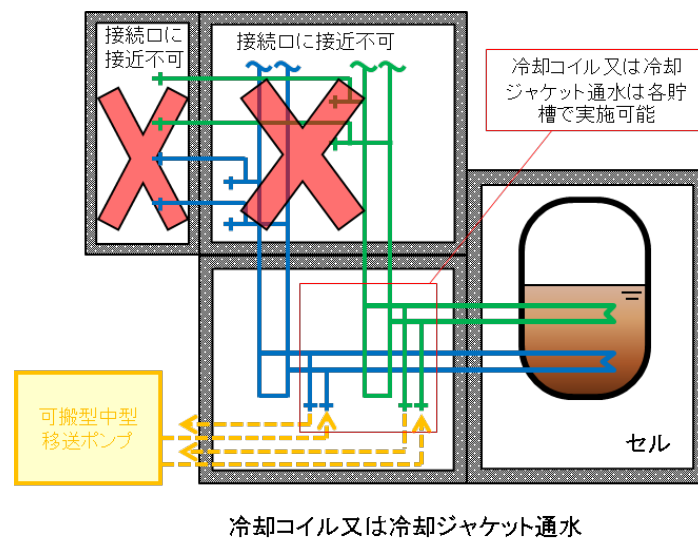
2.2.1 冷却コイル等通水による冷却に使用する設備の設計

冷却コイル等通水に使用する系統は、基準地震動を 1.2 倍にした地震動を考慮する設計とすることで、系統自身の堅牢性を十分確保した上で、乾燥・固化後の状態におけるリスクの大きさを考慮し、さらに信頼性を高めるための設計としている。

- ✓ 位置的分散及び独立性を考慮した系統を 2 系統整備※ ⇒ 多重性確保
- ✓ 1 系統あたり 2 口⇒ 通水のための多様な空間を確保

○接続口の信頼性

冷却コイル等通水に使用する配管は、基本的に独立した系統に複数の接続口を設け、複数の部屋で通水できるように設計している。



第 2. - 38 図 冷却コイル等通水の接続口概要図

2.2.2 冷却コイル等通水による冷却に使用する設備の有効性について

蒸発乾固への対処は、安全冷却水系の冷却機能の喪失が発生した場合に実施するため、蒸発乾固への対処に使用する重大事故等対処施設には、

安全冷却水系の冷却機能の喪失に伴って生じる環境条件の変化を想定した場合でも、必要な機能を有効に発揮することが求められる。

以下に、重大事故等対処施設が機能を発揮できることを説明する。

a. 温度

1) 常設重大事故等対処設備

冷却コイル等通水は、溶液の沸騰前後に実施することから、その温度は最大でも溶液の沸点程度であり、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 冷却コイル等通水は、事態の収束を図る目的で沸騰後に実施する可能性もあるが、温度条件としては各溶液の沸点程度（100℃を上回る程度）であることから、常設重大事故等対処設備である冷却コイル、冷却ジャケット等が想定される使用温度において有意な影響を受けることはない。

2) 可搬型重大事故等対処設備

可搬型重大事故等対処設備は、直接溶液と接することではなく、外部から供給される冷却水又は除熱後の排水を通水するのみである。内部ループへの通水時の供給水量は、除熱後の排水温度が55℃以下となる水量で供給することから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 可搬型ホース等は直接溶液と接することではなく、外部から供給される冷却水又は除熱後の排水を通水するのみである。
- ✓ 可搬型ホース（消防ホース）の耐熱温度60℃に対し、内部ループへの通水時の供給水量は、除熱後の排水温度が55℃以下となる水量で供給することから、想定される使用条件において有意な影響を与えることはない。

b. 圧力

可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧が圧力条件として最も高いが、冷却コイル等通水による冷却に使用する設備の最高使用圧力以下の供給圧で冷却水を供給する運用とすることから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 常設重大事故等対処設備の最高使用圧力が 0.98MP a であるのに対し、可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧を 0.8MP a 以下とすることから、有意な影響はない
- ✓ 可搬型ホース（消防ホース）の使用圧力が 1.6MP a 程度であるのに対し、可搬型中型移送ポンプからの冷却水供給圧を 0.8MP a 以下とすることから、有意な影響はない

c. 放射線

直接溶液と接する常設重大事故等対処設備における放射線影響は、平常運転時と同程度であり、直接放射線と接しない可搬型重大事故等対処設備における放射線影響は、セル外でを使用することからその影響は無視できることから、設備の機能を損なうことはない。

2.2.3 冷却水の供給

- ✓ 各建屋において冷却（内包液温度 85℃以下、冷却水出口温度 55℃以下）に必要な水の流量を以下に示す。
- ✓ いずれの建屋においても、整備した可搬型中型移送ポンプ（容量 240 m³/h）を用いて冷却水の通水が可能である。

第 2. - 7 表 必要流量

建屋	必要流量
前処理建屋	約 2.3m ³ /h
分離建屋	約 5.2m ³ /h
精製建屋	約 2.8m ³ /h
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	約 1.0m ³ /h
高レベル廃液ガラス固化建屋	約 51m ³ /h

2.3.1 放出低減対策に使用する設備の設計

放出低減対策に使用する系統は、基準地震動を1.2倍にした地震動を考慮する設計とすることで、系統自身の堅牢性を十分確保した設計としており、想定される使用環境において、期待する機能を発揮できる設計とする。

- ✓ 蒸発乾固が発生した場合に発生する蒸気により、蒸発乾固が発生した設備に接続する塔槽類廃ガス処理設備の系統内が加圧状態に至る可能性がある場合には、塔槽類廃ガス処理設備に設置されている隔離弁を閉止し、流路を遮断する。
- ✓ 蒸発乾固が発生した場合に発生する蒸気により、蒸発乾固が発生した設備に接続する塔槽類廃ガス処理設備の系統内が加圧状態に至った場合には、塔槽類廃ガス処理設備及びセルを接続するために新たに設置する常設重大事故等対処設備の塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットを開放する。これにより、発生した蒸気及び放射性物質は当該ユニットを経由してセルに導出される。
- ✓ 仮に当該ユニットを経由して発生した蒸気及び放射性物質がセルに導出されない場合であっても、塔槽類廃ガス処理設備に設置された水封安全器からセルに導出される。（※発生蒸気量の少ないウラン・プルトニウム混合脱硝建屋を除く）
- ✓ 以上より、蒸発乾固により気相中へ移行した放射性物質をセルに導出することができる。

2.3.2 放出低減対策に用いる設備の有効性について

蒸発乾固への対処は、安全冷却水系の冷却機能の喪失が発生した場合に実施するため、蒸発乾固への対処に使用する重大事故等対処施設には、

安全冷却水系の冷却機能の喪失に伴って生じる環境条件の変化を想定した場合でも、必要な機能を有効に発揮することが求められる。

以下に、重大事故等対処施設が機能を発揮できることを説明する。

a. 温度

蒸発乾固の発生を想定する機器が内包する溶液の温度が上昇し、沸点に至った場合、蒸気が発生し、系統内の気体の温度が上昇するが、その場合の気体の温度は溶液の沸点程度であり、設備の機能を損なうことはない。

1) 常設重大事故等対処設備

- ✓ 放出低減対策は、基本的に沸騰開始後に実施されることから、温度条件としては各溶液の沸点程度（100℃を上回る程度）であることから、常設重大事故等対処設備である塔槽類廃ガス処理設備の配管及びセル導出ユニット並びに凝縮器及び換気系統のダクトが有意な影響を受けることはない。
- ✓ なお、新たに設置する凝縮器は、凝縮器通過後の排気温度を50℃以下とする除熱能力を有する設計とすることから、実際の温度条件はさらに低い状態となる。

2) 可搬型重大事故等対処設備

- ✓ 放出低減対策は、基本的に沸騰開始後に実施されることから、温度条件としては各溶液の沸点程度（100℃を上回る程度）である。
- ✓ 新たに整備する可搬型重大事故等対処設備は、想定される温度条件において使用可能な設備を整備することから影響はない。

b. 圧力

蒸発乾固の発生を想定する機器が内包する溶液の温度が上昇し、沸点に至った場合、蒸気が発生し、沸騰が発生している貯槽に接続する塔槽類廃ガス処理設備内の圧力が上昇するが、塔槽類廃ガス処理設備内の圧力上昇は、塔槽類廃ガス処理設備に設置されている水封安全器又は塔槽類廃ガス処理設備からセルに導出するユニットを経由したセルへの導出により制限され、最大でも 300mmAq 程度である。また、セルへの導出以降は、セルへの導出の過程における凝縮器による蒸気の凝縮及び可搬型排風機による排気により有意な圧力上昇はないことから、設備の機能を損なうことはない。

c. 放射線

蒸発乾固の発生を想定する機器が内包する溶液の温度が上昇し、沸点に至った場合、放射性物質を含む蒸気が発生するが、材質を適切に考慮することから、設備の機能を損なうことはない。

d. 湿度

蒸発乾固の発生を想定する機器が内包する溶液の温度が上昇し、沸点に至った場合、蒸気が発生するが、材質の考慮又は凝縮器を設置することから、設備の機能を損なうことはない。また、放射性物質の除去機能を期待する高性能粒子フィルタの除去効率については、凝縮器の設置及び必要に応じて可搬型デミスタの設置によりミストを除去することから、設備の機能を損なうことはない。

- ✓ 凝縮器出口排気温度を 50℃とし、凝縮器出口の廃ガスを可搬型排風機の排気風量 2400m³/h で希釈することで有意なミストの発生を抑制することから、可搬型フィルタに与える影響はない

2.3.3 凝縮器による発生蒸気の凝縮について

- ✓ 発生した蒸気は凝縮器により凝縮されるが、水素掃気空気が抱えることができる湿分は下流へ流出する。
- ✓ 凝縮器は、廃ガス温度を 50℃以下とすることが可能な除熱能力を有する設計とすることから、セルに導出される湿分は、50℃の水素掃気空気が抱えられる湿分となる。(表①)
- ✓ セルに導出された水素掃気空気に同伴された湿分は、可搬型排風機により引き込まれる空気と混合する。
- ✓ 可搬型排風機の容量を 2400m³/h、引き込まれる空気の温度を 0℃、湿度を 75%^{*2}とした場合、引き込まれる空気の湿分は表②となる。
- ✓ 一方、温度 0℃の 2400m³/hの空気が抱えられる湿分は 11.7kg/h であり、表①と②の合計が 11.7kg/h を超えなければミストの発生はほぼ無視できると考えられ、高レベル廃液ガラス固化建屋以外の建屋については影響が無視できる。
- ✓ 実際には、凝縮器の除熱能力の安全余裕、水素掃気量の安全余裕及び引き込まれる空気温度設定の安全余裕から、高レベル廃液ガラス固化建屋においても大きな影響はないと考えられるが、蒸気発生量が多いことを考慮し、可搬型フィルタ上流にミスト除去を目的とした可搬型デミスタを設置することから、可搬型フィルタへ与える影響は無視できる。

第 2. - 8 表 凝縮器以降の蒸気量

	蒸気発生量 (kg/h)	水素掃気量 (Nm ³ /h)	①水素掃気空 気に同伴する 水蒸気量 (kg/h) ^{※1}	②2400m ³ /h の空気に同伴 できる水蒸気 量(kg/h) ^{※1}	①及び②の 合計
前処理建屋	108	31	2.6	8.7	11.3
分離建屋	127	35	2.9		11.6
精製建屋	131	15	1.3		10.0
ウラン・プルトニウ ム混合脱硝建屋	30.7	4	0.4		9.1
高レベル廃液ガラ ス固化建屋	1830	220	18.3		27.0

※1 50℃空気の飽和水蒸気量を 83g/m³、0℃空気の飽和水蒸気量を 4.9g/m³とした

※2 気象庁 HP 青森市の年間平均湿度を参照

2.3.4 冷却水の供給

- ✓ 各建屋の沸騰に至るまでの時間が最も短い機器の時間余裕、凝縮器通水開始時間及び各建屋において冷却に必要な水の流量を以下に示す。
- ✓ いずれの建屋においても、整備した可搬型中型移送ポンプ（容量 240 m³/h）を用いて沸騰開始前までに凝縮器への冷却水の通水が可能である。

第 2. - 9 表 時間余裕、凝縮器への通水開始時間及び必要流量

建屋	沸騰までの時間	凝縮器通水開始時間	必要流量
前処理建屋	140 時間	41 時間 10 分	約 10m ³ /h
分離建屋	15 時間	10 時間	約 30m ³ /h
精製建屋	11 時間	8 時間 30 分	約 6 m ³ /h
ウラン・プルトニウム混 合脱硝建屋	19 時間	14 時間 10 分	約 6 m ³ /h
高レベル廃液ガラス固化 建屋	23 時間	19 時間 55 分	約 45m ³ /h

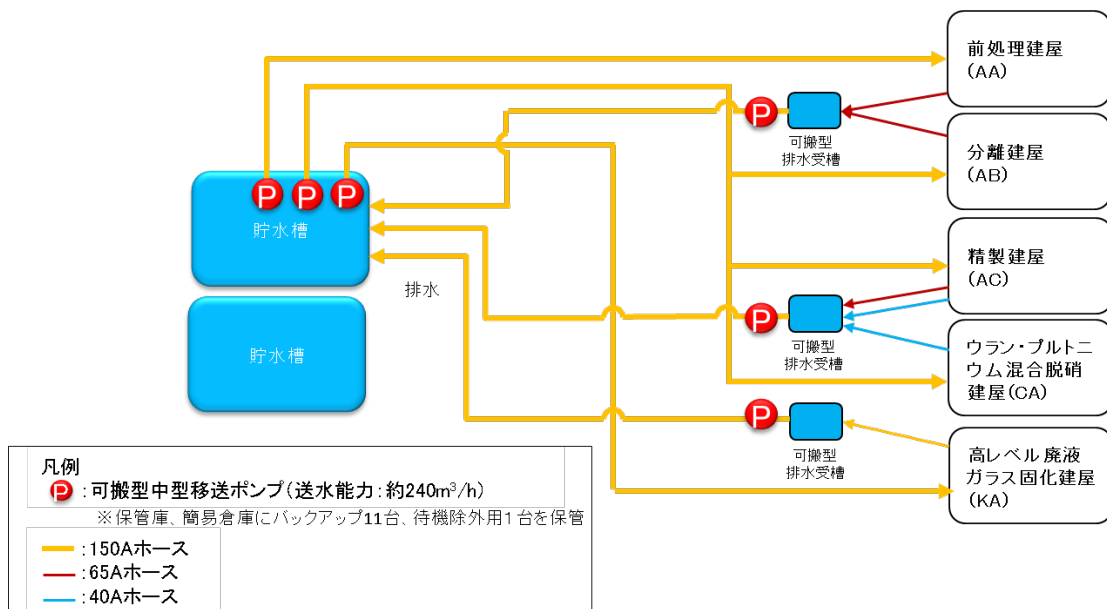
3. 可搬型中型移送ポンプの共用について

蒸発乾固の対処に使用する可搬型中型移送ポンプは、1台当たり約 $240\text{m}^3/\text{h}$ の容量を有し、内部ループへの通水を実施する場合には、前処理建屋における内部ループへの通水の実施に対して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における内部ループへの通水の実施に対して1台を共用し、高レベル廃液ガラス固化建屋における内部ループへの通水の実施に対して1台を使用する。また、冷却コイル等通水、貯水槽から機器への注水及び放出低減対策の凝縮器への通水の実施に必要な水の供給は、同じ可搬型中型移送ポンプを用いて実施する。

第 3. - 1 表に示すとおり、各建屋で蒸発乾固の各対策に必要な水量を考慮したとしても可搬型中型移送ポンプの容量(約 $240\text{m}^3/\text{h}$) 以下であるため、問題はない。また、故障等に備え保管庫、簡易倉庫に十分な数のバックアップを保管している。

第3. - 1表 蒸発乾固への対処に使用する水量

建屋	流量(m ³ /h)				
	AA	AB	AC	CA	KA
①内部ループ通水	約 29	約 33	約 4.1	約 1.3	約 70
②冷却コイル等通水	約 2.3	約 5.2	約 2.8	約 1.0	約 51
③機器への注水	約 0.33	約 0.61	約 0.40	約 0.14	約 5.5
④放出低減対策 (凝縮器通水)	約 10	約 30	約 6	約 6	約 45
①+③+④	約 40	約 64	約 11	約 7.5	約 130
(②+③+④)	約 13	約 36	約 9.2	約 7.1	約 110
蒸発乾固の対処での 建屋共用考慮	-	約 82 (約 52)			-



第3. - 1図 蒸発乾固への対処における水供給概要図

4. 可搬型発電機の共用について

可搬型発電機については、蒸発乾固の拡大の防止のための措置の放出低減対策での可搬型排風機の運転に使用する。建屋間の共用については、精製建屋とウラン・プルトニウム混合脱硝建屋のみ共用している。

前処理建屋における放出低減対策に必要な負荷は、可搬型排風機の約 5.2 kVA であり、必要な給電容量は、可搬型排風機の起動時を考慮しても約 32 kVA である。

分離建屋における放出低減対策に必要な負荷は可搬型排風機の約 5.2 kVA であり、必要な給電容量は、可搬型排風機の起動時を考慮しても約 32 kVA である。

精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における放出低減対策に必要な負荷は、可搬型排風機の約 11 kVA であり、必要な給電容量は、可搬型排風機の起動時を考慮しても約 63 kVA である。

高レベル廃液ガラス固化建屋における放出低減対策に必要な負荷は、可搬型排風機の約 5.2 kVA であり、必要な給電容量は、可搬型排風機の起動時を考慮しても約 32 kVA である。

可搬型発電機は、80 kVA の給電容量を有することから、放出低減対策に必要な負荷を賄うことができる。

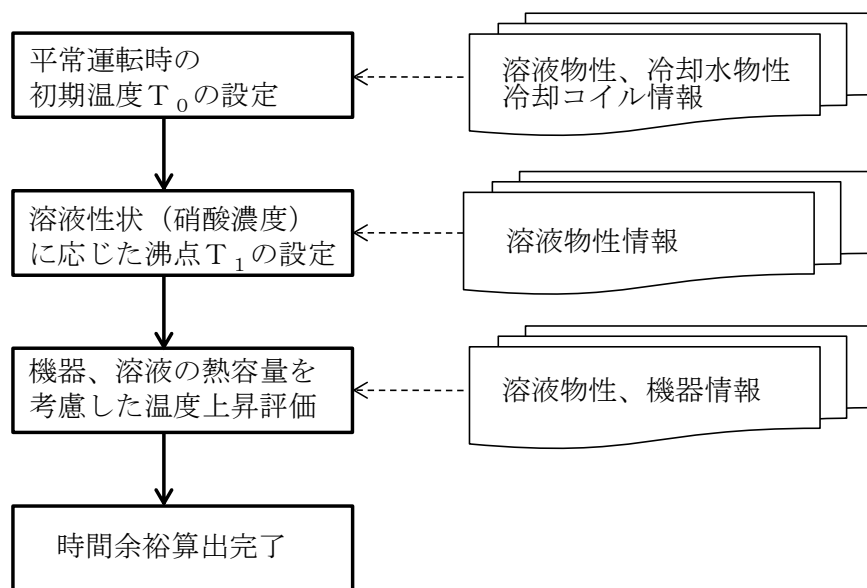
精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋については、放出低減対策で使用する可搬型発電機を共用している。仮に精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の可搬型排風機を同時に起動した場合でも、必要な給電容量は、約 63 kVA であり、2 建屋合わせても可搬型発電機の容量(80 kVA)以下であるため、対応可能である。

補足説明資料 7 - 3

1. 「地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う冷却機能喪失事故」の沸騰に至るまでの時間について

1.1 時間余裕の算出方法

冷却機能の喪失から溶液の沸騰開始までの時間余裕は、第 1. - 1 図のフローに基づいて算出する。時間余裕の算出を行う機器は、前処理建屋、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の蒸発乾固を想定する機器である。



第 1. - 1 図 溶液の沸騰開始までの時間余裕算出フロー

(1) 平常運転時の初期温度 T_0 の設定

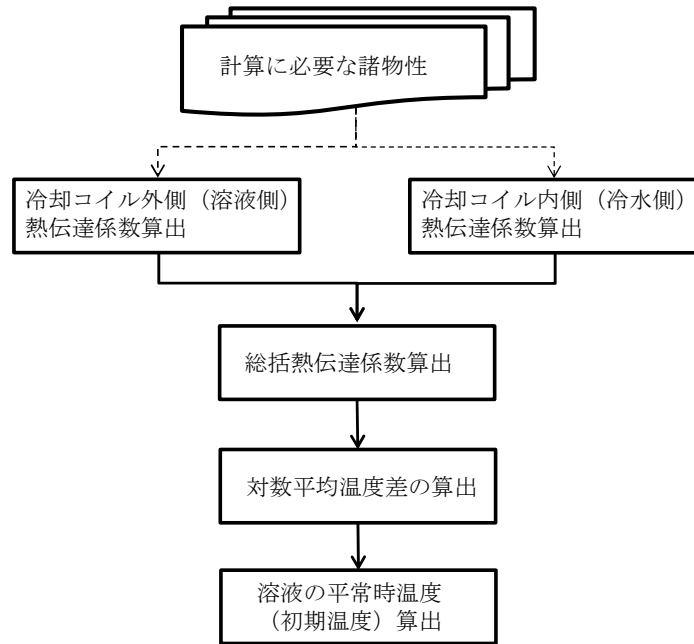
各溶液の平常運転時の初期温度 T_0 は、設計及び工事の方法の認可申請書の「崩壊熱除去に関する説明書」と同様の手法で評価する。

溶液の初期温度の算出に当たって、冷却コイル又は冷却ジャケットを 2 系統有する貯槽では、より厳しい結果を与えるように伝熱面積が小さい方の 1 系統のみで冷却する条件とする。

溶液の初期温度を算出するために用いる各種パラメータを第 1. - 1 表及び第 1. - 2 表に示す。

a. 冷却コイルの場合

冷却コイルを用いて冷却を行う前処理建屋，分離建屋，精製建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の溶液の初期温度は以下のとおり算出する。溶液の初期温度の計算フローを第 1. - 2 図に示す。



第 1. - 2 図 冷却コイルの場合の溶液の初期温度の計算フロー

(a) 冷却コイルの熱伝達係数の算出方法

i. 冷却コイル外側（溶液側）の熱伝達係数

溶液の平常運転時の初期温度を算出するために必要な冷却コイル外側（溶液側）の熱伝達係数 h_0 は，以下の計算式を用いて算出する。

$$h_0 = N_0 \times \frac{\lambda_0}{d}$$

$$N_0 = 0.53 \times (Gr_0 \times Pr_0)^{\frac{1}{4}}$$

$$Pr_0 = C_0 \times \frac{\mu_0}{\lambda_0}$$

$$Gr_0 = g \times d'^3 \times \rho_0^2 \times \beta \times \frac{(T_0 - T_w)}{\mu_0^2}$$

ii. 冷却コイル内側（冷水側）の熱伝達係数

溶液の平常運転時の初期温度を算出するために必要となる冷却コイル内側（冷水側）の熱伝達係数 h_i は、以下の計算式を用いて算出する。

$$h_i = N_i \times \frac{\lambda_i}{d}$$

$$N_i = 0.023 \times R e_i^{0.8} \times P r_i^{0.4}$$

$$P r_i = C_i \times \frac{\mu_i}{\lambda_i}$$

$$R e_i = d \times u \times \frac{\rho_i}{\mu_i}$$

(b) 総括熱伝達係数，対数平均温度差及び平衡温度の算出

i. 総括熱伝達係数

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{d'}{d \times h_i} + \frac{2 \times L \times d'}{\lambda \times (d + d')} + \frac{1}{h_{so}} + \frac{d'}{d \times h_{si}}$$

ii. 対数平均温度差

$$\Delta t_L = \frac{(T_0 - t_1) - (T_0 - t_2)}{\ln \frac{T_0 - t_1}{T_0 - t_2}}$$

iii. 平衡温度

平衡状態では、(b) ii. の算出式が成り立っているため、下式に対数平均温度差 Δt_L を代入し、溶液の平衡温度 T_0 を算出する。

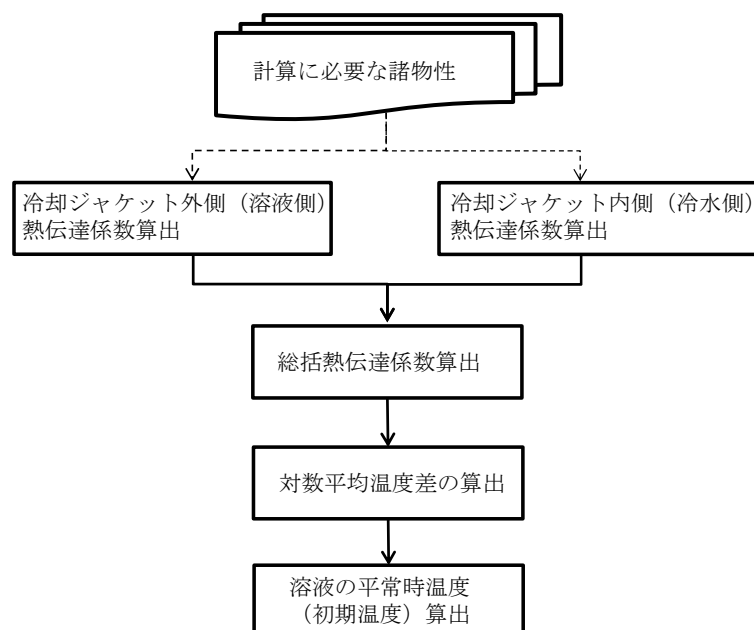
$$Q = U \times A \times \Delta t_L$$

第 1. - 1 表 溶液の初期温度算出に用いる各種パラメータ

λ_0	溶液の熱伝導率	N_0	冷却コイル外面のヌセルト数
d'	冷却コイル外径	Gr_0	溶液のグラスホフ数
Pr_0	溶液のプラントル数	C_0	溶液の比熱
μ_0	溶液の粘度	g	重力加速度
ρ_0	溶液の密度	β	溶液の体膨張係数
T_0	溶液温度	T_w	溶液の壁面温度
λ_i	水の熱伝導率	N_i	冷却コイル内面のヌセルト数
d	冷却コイル内径	Re_i	水のレイノルズ数
Pr_i	水のプラントル数	w	冷却水流量
μ_i	水の粘度 (平均温度における値)	u	水の流速
C_i	水の比熱	U	総括伝熱係数
ρ_i	水の密度	h_i	冷却水側の熱伝達率
h_0	溶液側の熱伝達係数	λ	ステンレス鋼の熱伝導係数
L	冷却コイル厚さ	h_{si}	冷却コイル内面の汚れ係数
h_{s0}	冷却コイル外面の汚れ係数	t_2	冷却水出口温度
t_1	冷却水入口温度	Q	崩壊熱量
Δt_L	対数平均温度差		
A	伝熱面積		

b. 冷却ジャケットの場合

冷却ジャケットを用いて冷却を行う前処理建屋，分離建屋，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋の溶液の初期温度は以下のとおり算出する。溶液の初期温度の計算フローを第 1. - 3 図に示す。



第 1. - 3 図 冷却ジャケットの場合の溶液の初期温度の計算フロー

(a) 冷却ジャケットの熱伝達係数の算出方法

i. 冷却ジャケット外側（溶液側）の熱伝達係数

溶液の平常運転時の初期温度を算出するために必要な冷却ジャケット外側（溶液側）の熱伝達係数 h_0 は、以下の計算式を用いて算出する。

$$h_0 = N_0 \times \frac{\lambda_0}{L_0}$$

$$N_0 = 0.13 \times (Gr_0 \times Pr_0)^{\frac{1}{3}}$$

$$Pr_0 = C_0 \times \frac{\mu_0}{\lambda_0}$$

$$Gr_0 = g \times L_0^3 \times \rho_0^2 \times \beta \times \frac{(T_0 - T_w)}{\mu_0^2}$$

ii. 冷却ジャケット内側（冷水側）の熱伝達係数

溶液の平常運転時の初期温度を算出するために必要な冷却ジャケット内側（冷水側）の熱伝達係数 h_i は、以下の計算式を用いて算出する。

$$h_i = N_i \times \frac{\lambda_i}{De}$$

$$N_i = 0.023 \times Re_i^{0.8} \times Pr_i^{0.4}$$

$$Pr_i = C_i \times \frac{\mu_i}{\lambda_i}$$

$$Re_i = De \times u \times \frac{\rho_i}{\mu_i}$$

(b) 総括熱伝達係数，対数平均温度差 Δt_L 及び平衡温度 T_0 の算出

i. 総括熱伝達係数

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_{so}} + \frac{1}{h_{si}}$$

ii. 対数平均温度差

$$\Delta t_L = \frac{(T_0 - t_1) - (T_0 - t_2)}{\ln \frac{T_0 - t_1}{T_0 - t_2}}$$

iii. 平衡温度

平衡状態では，(b) ii. の算出式が成り立っているため，下式に対数平均温度差 Δt_L を代入し，溶液の平衡温度 T_0 を算出する。

$$Q = U \times A \times \Delta t_L$$

第 1. - 2 表 溶液の初期温度算出に用いる各種パラメータ

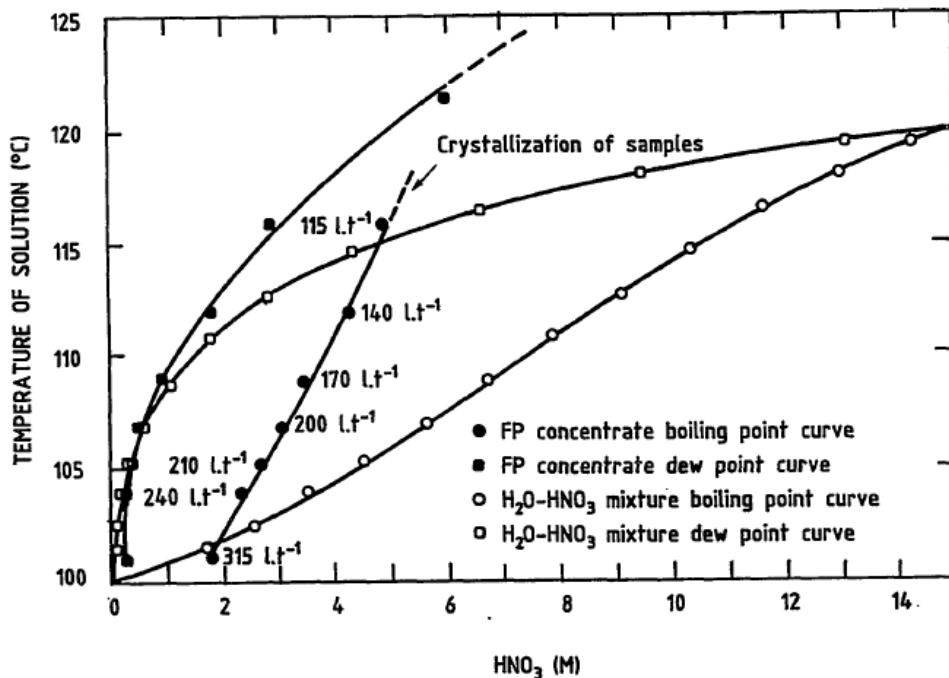
λ_o	溶液の熱伝導率	N_o	冷却ジャケット外面のヌセルト数
Gr_o	溶液のグラスホフ数	Pr_o	溶液のプラントル数
De	水力相当径	C_o	溶液の比熱
μ_o	溶液の粘度	g	重力加速度
ρ_o	溶液の密度	β	溶液の体膨張係数
T_o	溶液温度	T_w	溶液の壁面温度
λ_i	水の熱伝導率	N_i	冷却コイル内面のヌセルト数
Re_i	水のレイノルズ数	Pr_i	水のプラントル数
w	冷却水流量	μ_i	水の粘度（平均温度における値）
u	水の流速	C_i	水の比熱
U	総括伝熱係数	ρ_i	水の密度
h_i	冷却水側の熱伝達係数	h_o	溶液側の熱伝達係数
λ	ステンレス鋼の熱伝導率	L	銅板長さ
h_{si}	冷却ジャケット内面の汚れ係数	h_{so}	冷却ジャケット外面の汚れ係数
t_2	冷却水出口温度	t_1	冷却水入口温度
Δt_L	対数平均温度差	L_o	代表長さ
A	伝熱面積	Q	崩壊熱量

(2) 溶液性状(硝酸濃度)に応じた沸点 T_1 の設定

各溶液の沸点 T_1 は各溶液の硝酸濃度より第 1. - 4 図⁽¹⁾の硝酸濃度と沸点の関係から算出する。実際の溶液は、硝酸以外の溶質も溶存しており第 1. - 4 図の水-硝酸の沸点より高くなるが、時間余裕の算出に用いる沸点は、より厳しい結果を与えるように第 1. - 4 図より求めた以下の近似式に各溶液の硝酸濃度を代入し算出したものを用いる。

$$T_1 = -0.005447 \times c^3 + 0.1177 \times c^2 + 0.7849 \times c + 99.90$$

c : 硝酸濃度 [M]



第 1. - 4 図 硝酸濃度と沸点の関係

(3) 機器及び溶液の熱容量を考慮した温度上昇評価

冷却機能の喪失から沸騰開始までの時間余裕 Δt は、より厳しい結果を与えるように貯槽外面を断熱とし、溶液と貯槽の比熱を考慮して以下の計算式を用いて算出する。時間余裕を算出するために用いる各種パラメータを第 1. - 3 表に示す。

$$Q \times V \times \Delta t = \{ (M \times C) + (\rho \times V \times C') \} \times (T_1 - T_0)$$

$$\Delta t = \{ (M \times C) + (\rho \times V \times C') \} \times \frac{(T_1 - T_0)}{(Q \times V)}$$

第 1. - 3 表 温度上昇評価に用いる各種パラメータ

M	貯槽質量	C'	溶液比熱
C	貯槽比熱	Q	崩壊熱密度
T ₁	溶液沸点	T ₀	溶液初期温度
V	貯液量	ρ	溶液密度

1.2 各機器及びセルの具体的な評価結果

各建屋の蒸発乾固を想定する機器の時間余裕及び算出に用いた評価条件を第 1. - 4 表から第 1. - 8 表に示す。

第 1. - 4 表 前処理建屋の蒸発乾固を想定する機器の時間余裕及び算出に用いた評価条件

機器	貯槽材質	崩壊熱密度 Q [W/m ³]	貯液量 V [m ³]	貯槽質量 M [k g]	貯槽比熱 C [J/k g/K]	溶液密度 ρ [k g/m ³]	溶液比熱 C' [k c a l/k g/K]	溶液 硝酸濃度 [M]	溶液 沸点 T ₁ [°C]	溶液 初期温度 T ₀ [°C]	時間余裕 Δ T [h]
中継槽	ステンレス鋼	600	7	12100	499	1410	0.7	3	103	34	159
リサイクル槽	ステンレス鋼	600	2	3750	499	1410	0.7	3	103	33	164
不溶解残渣回収槽	ステンレス鋼	3.3	5	9500	499	976	0.99	0.2	100	30	2.9×10 ⁴
計量前中間貯槽	ステンレス鋼	600	25	19100	499	1410	0.7	3	103	32	148
計量後中間貯槽	ステンレス鋼	460	25	19800	499	1410	0.7	3	103	32	194
計量・調整槽	ステンレス鋼	460	25	7950	499	1410	0.7	3	103	32	183
計量補助槽	ステンレス鋼	460	7	5100	499	1410	0.7	3	103	32	192
中間ポット	ジルコニウム	600	■	385	288	1400	0.7	3	103	30	167

■については商業機密の観点から公開できません。

第 1. - 5 表 分離建屋の蒸発乾固を想定する機器の時間余裕及び算出に用いた評価条件

機器	貯槽材質	崩壊熱密度 Q [W/m ³]	貯液量 V [m ³]	貯槽質量 M [kg]	貯槽比熱 C [J/kg/K]	溶液密度 ρ [kg/m ³]	溶液比熱 C' [kcal/kg/K]	溶液 硝酸濃度 [M]	溶液 沸点 T ₁ [°C]	溶液 初期温度 T ₀ [°C]	時間余裕 ΔT[h]
溶解液中間貯槽	ステンレス鋼	460	25	10950	499	1410	0.7	3	103	32	186
溶解液供給槽	ステンレス鋼	460	6	3360	499	1410	0.7	3	103	32	189
抽出廃液受槽	ステンレス鋼	290	15	5040	499	1073	0.845	2.8	103	35	258
抽出廃液中間貯槽	ステンレス鋼	290	20	6140	499	1073	0.845	3	103	35	257
抽出廃液供給槽 A	ステンレス鋼	290	60	20700	499	1073	0.845	2.6	103	35	258
抽出廃液供給槽 B	ステンレス鋼	290	60	21050	499	1073	0.845	2.6	103	35	258
第 1 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	290	3	6200	499	1073	0.845	2.8	103	35	314
第 8 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	290	■	7500	499	1073	0.845	2.8	103	35	314
第 7 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	290	■	5800	499	1073	0.845	2.8	103	35	314
第 3 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	290	20	7130	499	1073	0.845	2.8	103	35	258
第 4 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	290	20	7430	499	1073	0.845	2.8	103	35	259
第 6 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	290	■	2780	499	1073	0.845	2.8	103	32	336
高レベル廃液供給槽 A	ステンレス鋼	120	20	18000	499	1050	0.87	2.6	103	30	721
高レベル廃液濃縮缶 A	ステンレス鋼	5800	■	63400	499	1460	0.58	4	104	50※	15

※高レベル廃液濃縮缶が加熱運転している場合の温度

■については商業機密の観点から公開できません。

第 1. - 6 表 精製建屋の蒸発乾固を想定する機器の時間余裕及び算出に用いた評価条件

機器	貯槽材質	崩壊熱密度 Q [W/m ³]	貯液量 V [m ³]	貯槽質量 M [k g]	貯槽比熱 C [J/k g/K]	溶液密度 ρ [k g/m ³]	溶液比熱 C' [k c a l/k g/K]	溶液 硝酸濃度 [M]	溶液 沸点 T ₁ [°C]	溶液 初期温度 T ₀ [°C]	時間余裕 Δ T [h]
プルトニウム溶液受槽	ステンレス鋼	930	■	3400	499	1080	0.89	1.58	101	36	114
油水分離槽	ステンレス鋼	930	■	3500	499	1080	0.89	1.58	101	36	115
プルトニウム濃縮缶供給槽	ステンレス鋼	930	3	8700	499	1080	0.89	1.58	101	42	96
プルトニウム溶液一時貯槽	ステンレス鋼	930	3	9000	499	1080	0.89	1.58	101	41	98
プルトニウム濃縮液受槽	ステンレス鋼	8600	1	4500	499	1620	0.59	7	109	49	12
リサイクル槽	ステンレス鋼	8600	1	4500	499	1620	0.59	7	109	49	12
希釈槽	ステンレス鋼	8600	2.5	8300	499	1620	0.59	7	109	45	11
プルトニウム濃縮液 一時貯槽	ステンレス鋼	8600	1.5	5800	499	1620	0.59	7	109	49	11
プルトニウム濃縮液計量槽	ステンレス鋼	8600	1	4500	499	1620	0.59	7	109	49	12
プルトニウム濃縮液 中間貯槽	ステンレス鋼	8600	1	4500	499	1620	0.59	7	109	49	12
第 1 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	930	1.5	4600	499	1080	0.89	1.58	101	38	104
第 2 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	930	1.5	4600	499	1080	0.89	1.58	101	38	104
第 3 一時貯留処理槽	ステンレス鋼	930	3	8700	499	1080	0.89	1.58	101	42	96

■ については商業機密の観点から公開できません。

第 1. - 7 表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の蒸発乾固を想定する機器の時間余裕及び算出に用いた評価条件

機器	貯槽材質	崩壊熱密度 Q [W/m ³]	貯液量 V [m ³]	貯槽質量 M [k g]	貯槽比熱 C [J/k g/K]	溶液密度 ρ [k g/m ³]	溶液比熱 C' [k c a l/k g/K]	溶液 硝酸濃度 [M]	溶液 沸点 T ₁ [°C]	溶液 初期温度 T ₀ [°C]	時間余裕 ΔT[h]
硝酸プルトニウム貯槽	ステンレス鋼	8600	1	9600	499	1580	0.59	7	109	41	19
混合槽	ステンレス鋼	5300	1	9600	499	1570	0.59	4.38	105	37	30
一時貯槽	ステンレス鋼	8600	1	9600	499	1580	0.59	7	109	41	19

第 1. - 8 表 高レベル廃液ガラス固化建屋の蒸発乾固を想定する機器の時間余裕及び算出に用いた評価条件

機器	貯槽材質	崩壊熱密度 Q [W/m ³]	貯液量 V [m ³]	貯槽質量 M [k g]	貯槽比熱 C [J/k g/K]	溶液密度 ρ [k g/m ³]	溶液比熱 C' [k c a l/k g/K]	溶液 硝酸濃度 [M]	溶液 沸点 T ₁ [°C]	溶液 初期温度 T ₀ [°C]	時間余裕 ΔT[h]
高レベル濃縮廃液貯槽	ステンレス鋼	3200	120	70000	499	1300	0.8	2	102	41	24
高レベル濃縮廃液一時貯槽	ステンレス鋼	3600	25	20600	499	1300	0.8	2	102	39	23
高レベル廃液混合槽	ステンレス鋼	3600	20	22200	499	1300	0.8	2	102	41	23
供給液槽	ステンレス鋼	3600	5	8300	499	1300	0.8	2	102	41	24
供給槽	ステンレス鋼	3600	2	3300	499	1300	0.8	2	102	41	24
不溶解残渣廃液一時貯槽	ステンレス鋼	3.3	5	8150	499	976	0.99	0.17	100	30	2.8×10 ⁴
不溶解残渣廃液貯槽	ステンレス鋼	1.5	70	36100	499	976	0.99	0.09	100	30	5.5×10 ⁴
高レベル廃液共用貯槽	ステンレス鋼	3200	120	70000	499	1300	0.8	2	102	41	24

1.3 機器の熱容量を考慮することの妥当性

溶液を保持する貯槽胴板を平板形状とした場合、貯槽外面を断熱と仮定すると、貯槽外面温度の過渡変化は次式の関係で表現することができる。

$$\theta_c = A_1 \exp(-A_2 F_o)$$

$$\theta_c = \frac{T_c - T_o}{T_i - T_o}$$

$$F_o = \frac{\alpha t}{L^2}$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C}$$

ここで A1 および A2 は、ビオ数 ($Bi=hL/\lambda$) から定まる過渡温度変化パラメータで下表⁽²⁾のとおりとなる。

第 1. - 9 表 ビオ数 ($Bi=hL/\lambda$) から定まる過渡温度変化パラメータ

$Bi=hL/\lambda$	A1	A2
0.1	1.016	0.097
0.2	1.031	0.187
0.3	1.045	0.272

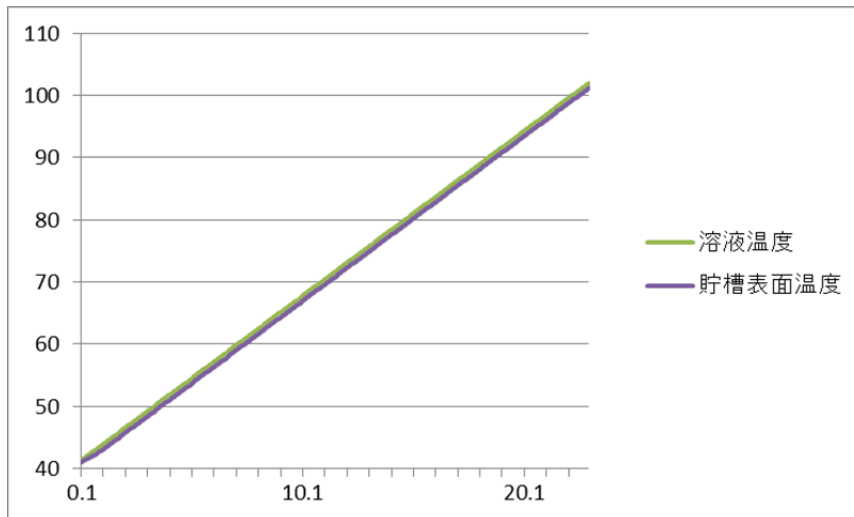
第 1. - 10 表 過渡変化算出に用いる各種パラメータ

記号	意味	数値	備考
L	貯槽厚さ	■ [m]	設計値
ρ	貯槽密度	7920 [kg/m ³]	SUS304 の値 (伝熱工学資料)
C	貯槽比熱	499 [J/kg/K]	SUS304 の値 (伝熱工学資料)
λ	貯槽熱伝導率	16 [W/m/K]	SUS304 の値 (伝熱工学資料)
h	熱伝達率	110 [W/m ² /K]	
Tc	貯槽外面温度		
Ti	貯槽外面初期温度		
To	溶液温度		

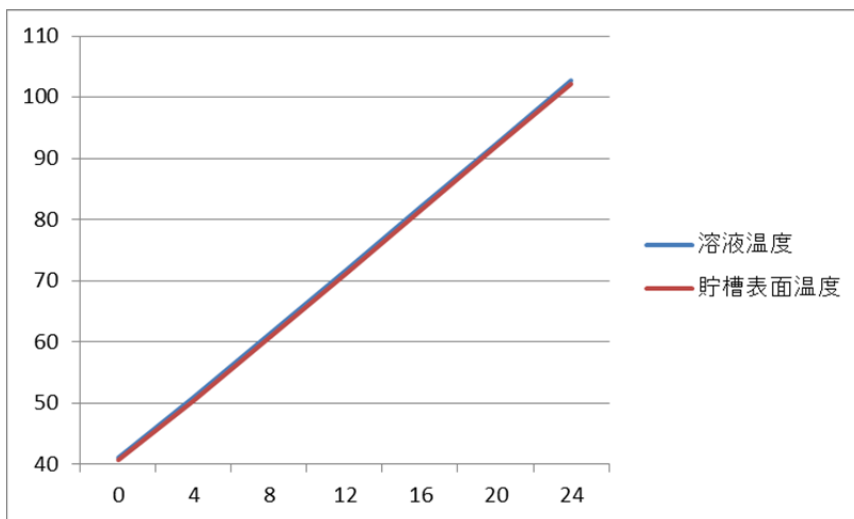
■ については商業機密の観点から公開できません。

上述の関係式から、境界条件となる溶液温度を時間変化させ、ある微小な時間経過後の貯槽表面温度を逐次計算し算出する。

高レベル濃縮廃液貯槽の温度上昇速度の場合、貯槽の熱容量を考慮しない場合で約 $2.65^{\circ}\text{C}/\text{h}$ となる。これを境界条件とした場合の貯槽表面温度の時間変化は第 1. - 5 図のとおりとなり、溶液温度の上昇とほぼ同じ上昇傾向を示すことがわかる。また、差分法により溶液温度および貯槽表面温度の時間変化を算出したところ、第 1. - 6 図のとおりとなった。これらの結果から貯槽の熱容量を考慮した時間評価を行うことは妥当と考えられる。



第 1. - 5 図 貯槽表面温度の時間変化



第 1. - 6 図 差分法により求めた溶液温度および貯槽表面温度の時間変化

2. 参考文献

- (1) M. Philippe, J. P. Mercier, and J. P Gue, “Behavior of Ruthenium in the case of Shutdown of the cooling system of HLLW storage tanks”, 21st DOE/NRC Nuclear Air Cleaning Conference, San Diego, USA (1990)
- (2) 「JSME テキストシリーズ 伝熱工学」日本機械学会

補足説明資料 7 - 4

1. 除熱評価について

安全冷却水系の機器が損傷し、冷却機能が喪失した場合には、蒸発乾固の発生を未然に防止するため、安全冷却水系の内部ループに通水し、蒸発乾固を想定する機器に内包する高レベル廃液等を冷却する。さらに、安全冷却水系の内部ループへの通水が実施できなかった場合でも、より機器に近い位置から冷却コイル又は冷却ジャケットへ通水することにより、蒸発乾固を想定する機器に内包する高レベル廃液等を冷却する。

上記対策の有効性を示すため、蒸発乾固の発生を想定する機器の崩壊熱の除去に関する評価を行う。

1.1 評価対象

設計基準において、崩壊熱により溶液が沸騰するおそれがあるとして、安全冷却水系により冷却している以下の第 1. - 1 表の機器において蒸発乾固の発生を想定する。

第 1. - 1 表 冷却機能の喪失による蒸発乾固の対象機器

建 屋	施設・設備名	機 器
前処理建屋	溶解施設 溶解設備	中間ポット
	溶解施設 清澄・計量設備	中継槽 リサイクル槽 不溶解残渣回収槽 計量前中間貯槽 計量後中間貯槽 計量・調整槽 計量補助槽
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 抽出廃液受槽 抽出廃液中間貯槽 抽出廃液供給槽
	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 8 一時貯留処理槽 第 7 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 6 一時貯留処理槽
	液体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液濃縮設備 高レベル廃液濃縮系	高レベル廃液供給槽 高レベル廃液濃縮缶
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 プルトニウム濃縮液受槽 リサイクル槽 希釈槽 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 プルトニウム濃縮液中間貯槽
	精製施設 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
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
高レベル廃液 ガラス固化建屋	液体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液貯蔵設備	高レベル濃縮廃液貯槽 高レベル濃縮廃液一時貯槽 不溶解残渣廃液一時貯槽 不溶解残渣廃液貯槽 高レベル廃液共用貯槽
	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

1.2 評価基準

蒸発乾固の発生を想定する機器の崩壊熱の除去に関する評価の実施にあたり、前提となる評価基準を以下に示す。

冷却水出口温度 t_2 [°C] : 55°C以下

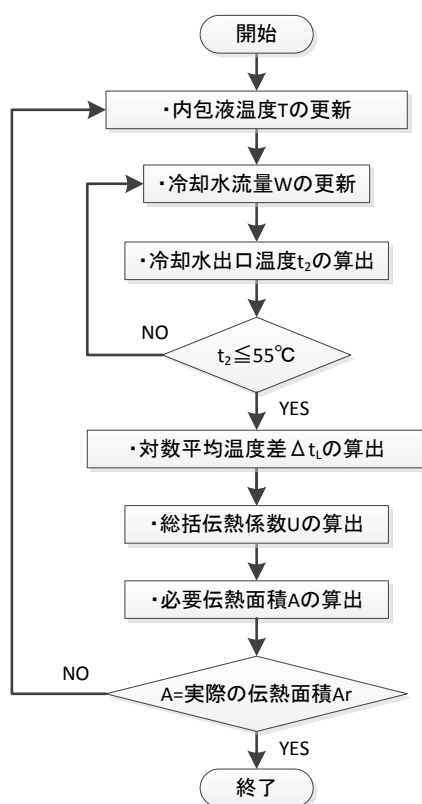
内包液温度 T [°C] : 85°C以下

冷却水出口温度 t_2 [°C]は、消防ホースの使用条件 60°Cに対して余裕を見込んで、55°C以下となるようにする。また、内包液温度 T [°C]は、沸点を十分に下回る温度として、85°C以下となるようにする。

1.3 評価方法

本評価では、「1.2 評価基準」で示した冷却水出口温度 t_2 [°C] 及び内包液温度 T [°C] を満足するとともに、必要伝熱面積 A [m²] と実際の伝熱面積 A_r [m²] が等しくなる、定常状態での冷却水流量 W [m³/h] を算出するために、次頁以降で示す対数平均温度差 Δt_L [K] 及び総括伝熱係数 U [W/m²K] の評価式を用いる。

冷却水流量 W [m³/h] の算出の流れの一例を、第 1. - 1 図に示す。



第 1. - 1 図 冷却水流量 W の評価フローの一例

1.3.1 対数平均温度差の算出

対数平均温度差 Δt_L [°C] は以下のとおり求める。

$$\Delta t_L = \frac{(T - t_1) - (T - t_2)}{\ln \frac{(T - t_1)}{(T - t_2)}}$$

第 1. - 2 表 対数平均温度差の算出に用いる各種パラメータ

Q	[k c a l / h]	崩壊熱量
T	[°C]	内包液温度
t ₁	[°C]	冷却水入口温度
t ₂	[°C]	冷却水出口温度 (= t ₁ + Q / (C _i × ρ _i × W))
W	[m ³ / h]	冷却水流量
C _i	[J / k g K]	冷却水の比熱
ρ _i	[k g / m ³]	冷却水の密度

1.3.2 冷却コイルの場合の総括伝熱係数の算出

冷却コイルの場合の総括伝熱係数 U [W / m² K] は以下のとおり求める。

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{so}} + \frac{2 \times L \times d'}{\lambda \times (d + d')} + \frac{d'}{(d \times h_{si})} + \frac{d'}{d \times h_i}$$

第 1. - 3 表 冷却コイルの場合の総括伝熱係数の算出に用いる

各種パラメータ

h _o	[W / m ² K]	冷却コイル外面 (内包液側) の熱伝達率
h _i	[W / m ² K]	冷却コイル内面 (冷却水側) の熱伝達率
L	[m]	冷却コイル厚さ
λ	[W / m K]	冷却コイルの熱伝導率
h _{so}	[W / m ² K]	冷却コイル外面 (内包液側) の汚れ係数
h _{si}	[W / m ² K]	冷却コイル内面 (冷却水側) の汚れ係数
d'	[m]	冷却コイル外径
d	[m]	冷却コイル内径

ここで、冷却コイル外面（内包液側）の熱伝達率 h_o [W/m²K] は下式であらわされる。

$$h_o = \frac{\lambda_o \times Nu_o}{d'}$$

冷却コイル外面（内包液側）のヌセルト数 Nu_o は以下のとおり求める。

($Gr_o \times Pr_o = 10^4 \sim 10^9$ の場合)

$$Nu_o = 0.53 \times (Gr_o \times Pr_o)^{1/4} \quad (3)$$

($Gr_o \times Pr_o > 10^9$ の場合)

$$Nu_o = 0.13 \times (Gr_o \times Pr_o)^{1/3} \quad (3)$$

第1. - 4表 内包液側のヌセルト数の算出に用いる各種パラメータ

Pr_o	—	内包液のプラントル数 ($= C_o \times \mu_o \times 3600 / \lambda_o$)
Gr_o	—	内包液のグラスホフ数 ($= g \times d'^3 \times \rho_o^2 \times \beta \times (T - T_w) / \mu_o^2$)
g	[m/s ²]	重力加速度 (=9.8)
β	[K ⁻¹]	内包液の体膨張係数
T_w	[°C]	内包液の壁面温度
μ_o	[kg/ms]	内包液の粘度
λ_o	[W/mK]	内包液の熱伝導率
ρ_o	[kg/m ³]	内包液の密度
C_o	[J/kgK]	内包液の比熱

また、冷却コイル内面（冷却水側）の熱伝達率 h_i [W/m²K] は下式であらわされる。

$$h_i = \frac{\lambda_i \times Nu_i}{d}$$

冷却コイル内面（冷却水側）のヌセルト数 Nu_i は以下のとおり求める。

($Re_i < 2100$ の場合)

$$Nu_i = 3.66 + \frac{0.0802 \times (q_{mi} \times C_i / \lambda_i / L_c)}{1 + 0.0458 \times (q_{mi} \times C_i / \lambda_i / L_c)^{2/3}} \quad (2)$$

($Re_i = 2320 \sim 10^4$ の場合)

$$Nu_i = 0.116 \times (Re_i^{\frac{2}{3}} - 125) \times Pr_i^{\frac{1}{3}} \times \left[1 + \left(\frac{d}{L_c} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \times \left(\frac{\mu_i}{\mu_{wi}} \right)^{0.14} \quad (3)$$

($Re_i > 10^4$ の場合)

$$Nu_i = 0.023 \times Re_i^{0.8} \times Pr_i^{0.4} \quad (2)$$

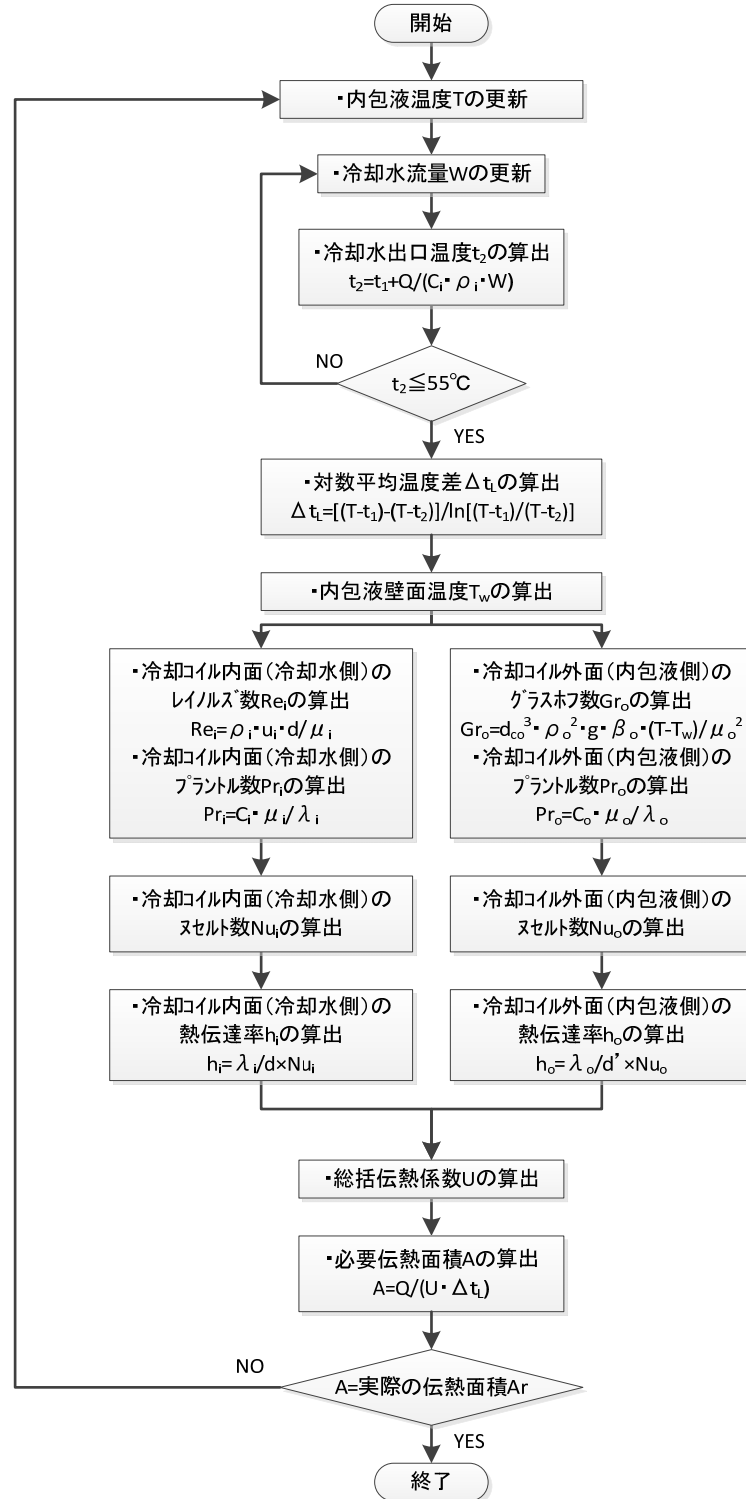
第 1. - 5 表 冷却水側のヌセルト数の算出に用いる各種パラメータ

q_{mi}	[k g / s]	質量流量
L_c	[m]	コイル長さ
Re_i		冷却水のレイノルズ数 ($= d \times u \times \rho_i / \mu_i$)
Pr_i		冷却水のプラントル数 (平均温度における値) ($= C_i \times \mu_i \times 3600 / \lambda_i$)
u	[m / s]	冷却水の流速
μ_i	[k g / m s]	冷却水の粘度 (平均温度における値)
μ_{wi}	[k g / m s]	冷却水の粘度 (壁面温度における値)
λ_i	[W / m K]	冷却水の熱伝導率 (平均温度における値)
C_i	[J / k g K]	冷却水の比熱

冷却コイルの場合の冷却水流量 W [m³/h] の算出の流れの一例を、

第 1. - 2 図に示す。

また、各機器における対数平均温度差 Δt_L [°C] 及び総括伝熱係数 U [W/m²K] の計算に使う物性等を、1.4.3 に示す。



第 1. - 2 図 冷却コイルの場合の冷却水流量Wの評価フローの一例

1.3.3 冷却ジャケットの場合の総括伝熱係数の算出

冷却ジャケットの場合の総括伝熱係数U [W/m²K] は以下のとおり求める。

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{so}} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_{si}} + \frac{1}{h_i}$$

第1. - 6表 冷却ジャケットの場合の総括伝熱係数の算出に用いる

各種パラメータ

h_o	[W/m ² K]	内包液側の熱伝達率
h_i	[W/m ² K]	冷却水側の熱伝達率
L	[m]	貯槽の板厚
λ	[W/mK]	貯槽の熱伝導率
h_{so}	[W/m ² K]	内包液側の汚れ係数
h_{si}	[W/m ² K]	冷却水側の汚れ係数

ここで、内包液側の熱伝達率 h_o [W/m²K] は下式であらわされる。

$$h_o = \frac{\lambda_o \times Nu_o}{L_o}$$

冷却ジャケット外面（内包液側）のヌセルト数 Nu_o は以下のとおり求める。

($Gr_o \times Pr_o = 10^4 \sim 10^9$ の場合)

$$Nu_o = 0.53 \times (Gr_o \times Pr_o)^{1/4} \quad (3)$$

($Gr_o \times Pr_o > 10^9$ の場合)

$$Nu_o = 0.13 \times (Gr_o \times Pr_o)^{1/3} \quad (3)$$

第 1. - 7 表 内包液側のヌセルト数の算出に用いる各種パラメータ

Pr_o	—	内包液のプラントル数 ($= C_o \times \mu_o \times 3600 / \lambda_o$)
Gr_o	—	内包液のグラスホフ数 ($= g \times d'^3 \times \rho_o^2 \times \beta \times (T - T_w) / \mu_o^2$)
g	[m/s ²]	重力加速度 (=9.8)
β	[K ⁻¹]	内包液の体膨張係数
T_w	[°C]	内包液の壁面温度
μ_o	[kg/ms]	内包液の粘度
λ_o	[W/mK]	内包液の熱伝導率
ρ_o	[kg/m ³]	内包液の密度
C_o	[J/kgK]	内包液の比熱

また、冷却水側の熱伝達率 h_i [W/m²K] は下式であらわされる。

$$h_i = \frac{\lambda_i \times Nu_i}{D_e}$$

($Re_i < 2300$ の場合)

$$Nu_i = 1.86 \times \left(\frac{L_0}{D_e \times P_e} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\mu_i}{\mu_{wi}} \right)^{0.14} \quad (3)$$

($Re_i = 2320 \sim 10^4$ の場合)

$$Nu_i = 0.116 \times (Re_i^{\frac{2}{3}} - 125) \times Pr_i^{\frac{1}{3}} \times \left[1 + \left(\frac{D_e}{L_0} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \times \left(\frac{\mu_i}{\mu_{wi}} \right)^{0.14} \quad (3)$$

($Re_i > 10^4$ の場合)

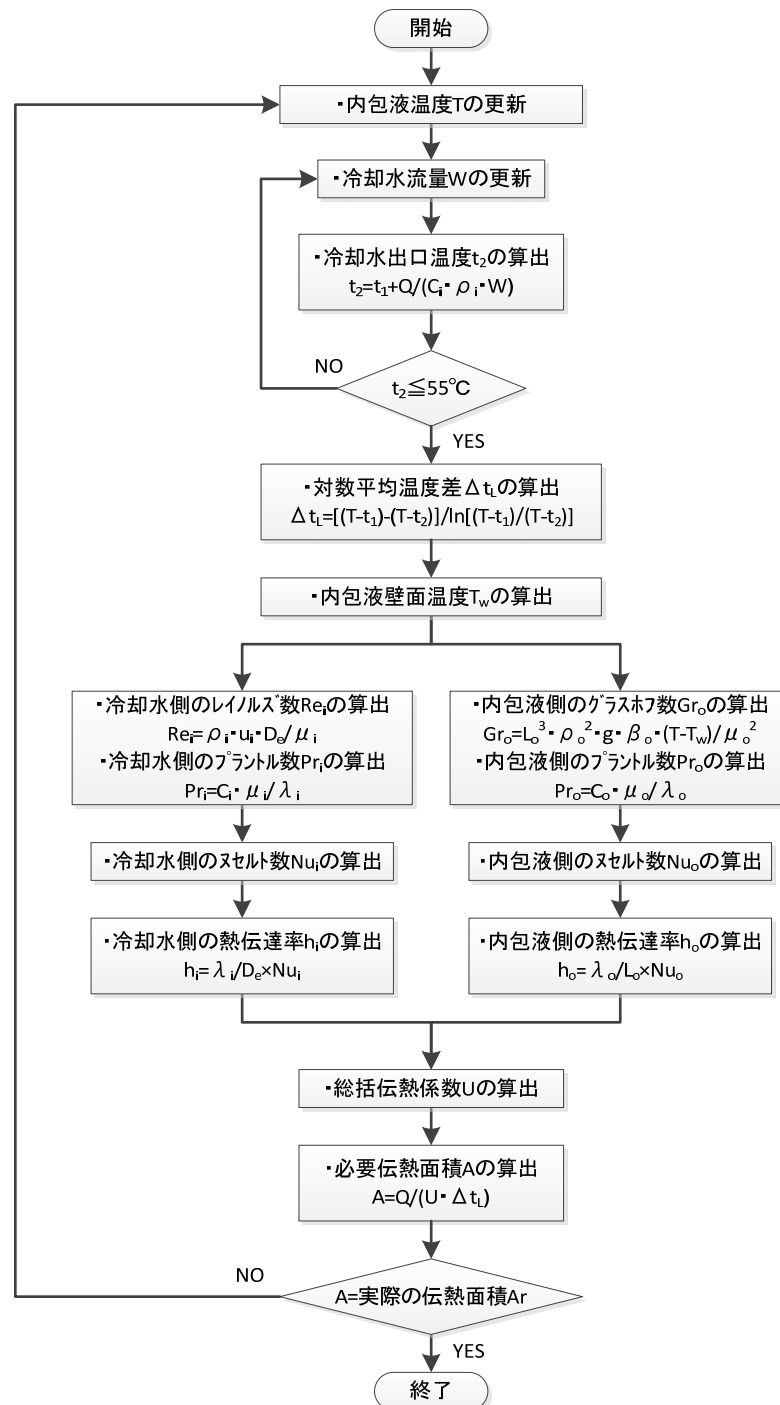
$$Nu_i = 0.023 \times Re_i^{0.8} \times Pr_i^{0.4} \quad (2)$$

第 1. - 8 表 冷却水側のヌセルト数の算出に用いる各種パラメータ

Re_i	—	冷却水のレイノルズ数 ($= D_e \times u \times \rho_i / \mu_i$)
Pr_i	—	冷却水のプラントル数 (平均温度における値) ($= C_i \times \mu_i \times 3600 / \lambda_i$)
P_e		冷却水のペクレ数 ($= Re_i \times Pr_i$)
D_e	[m]	水力相当径
u	[m/s]	冷却水の流速
μ_i	[kg/ms]	冷却水の粘度 (平均温度における値)
μ_{wi}	[kg/ms]	冷却水の粘度 (壁面温度における値)
λ_i	[W/mK]	冷却水の熱伝導率 (平均温度における値)
C_i	[J/kgK]	冷却水の比熱

冷却ジャケットの場合の冷却水流量 W [m³/h] の算出の流れの一例を、
第 1. - 3 図に示す。

また、各機器における対数平均温度差 Δt_L [°C] 及び総括伝熱係数 U [W/
m²K] の計算に使う物性等を、1. 4. 3 に示す。



第 1. - 3 図 冷却ジャケットの場合の冷却水流量 W の評価フローの一例

1.4 評価条件

1.4.1 各施設・設備が内包する溶液の崩壊熱

各施設・設備が内包する溶液の崩壊熱は、崩壊熱の観点から最も厳しい燃料仕様を選定し評価する。機器の崩壊熱除去の設計に用いている使用済燃料の仕様は、使用済燃料集合体 1 体程度の量で取り扱う場合（以下「1 体領域」という。）及び 1 日当たりに再処理する使用済燃料を混合し、平均燃焼度が $45,000 \text{ MW d} / \text{ t} \cdot U_{PR}$ 以下になるように調整する溶解施設の計量・調整槽以降の溶解液等を取り扱う場合（以下「1 日平均領域」という。）があり、各施設・設備の特徴を考慮し設定する。

また、各溶液の崩壊熱量は、各溶液の主な核種から OR I G E N コード（OR I G E N - 2⁽¹⁾）を用いて計算する。

各施設・設備の内包する溶液の主な核種、燃料仕様及び崩壊熱を第 1. - 9 表に示す。

第1. - 9表 各施設・設備が内包する溶液の主な核種，燃料仕様及び崩壊熱

建屋	施設・設備名	領域区分	内包する溶液名	主な核種*	燃料仕様					崩壊熱
					燃焼度 [GWd/ t・U _{Pr}]	初期 濃縮度 [w t %]	燃料 型式	比出力 [MW/ t・U _{Pr}]	冷却 期間 [年]	
前処理建屋	溶解施設 溶解設備	一体平均領域	溶解液(1)	FP+ACT	55	3	PWR	60	15	1.96×10^3 [W/t・U _{Pr}]
	溶解施設 清澄・計量設備	一体平均領域	溶解液(1)	FP+ACT	55	3	PWR	60	15	1.96×10^3 [W/t・U _{Pr}]
		一日平均領域	溶解液(2)	FP+ACT	45	3.5	PWR	60	15	1.42×10^3 [W/t・U _{Pr}]
		一日平均領域	不溶解残渣廃液	Ru+Rh	45	3.5	PWR	60	15	1.61×10^{-1} [W/t・U _{Pr}]
分離建屋	分離施設 分離設備	一日平均領域	溶解液(2)	FP+ACT	45	3.5	PWR	60	15	1.42×10^3 [W/t・U _{Pr}]
		一日平均領域	抽出廃液	FP-Kr+ACT-Pu	45	3.5	PWR	60	15	1.25×10^3 [W/t・U _{Pr}]
	分離施設 分離建屋一時貯留 処理設備	一日平均領域	抽出廃液	FP-Kr+ACT-Pu	45	3.5	PWR	60	15	1.25×10^3 [W/t・U _{Pr}]
	液体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液濃縮設備 高レベル廃液濃縮系	一日平均領域	高レベル廃液 高レベル濃縮廃液	FP-Kr+ACT-Pu	45	3.5	PWR	60	15	1.28×10^3 [W/t・U _{Pr}]
精製建屋	精製施設 プルトニウム精製設備	一日平均領域	硝酸プルトニウム溶液	Pu+5000 ppm 241Am	45	3.5	BWR	10	15	2.44×10^1 [W/Pu-k g]
	精製施設 精製建屋一時貯留設備	一日平均領域	硝酸プルトニウム溶液	Pu+5000 ppm 241Am	45	3.5	BWR	10	15	2.44×10^1 [W/Pu-k g]
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	一日平均領域	硝酸プルトニウム溶液	Pu+5000 ppm 241Am	45	3.5	BWR	10	15	2.44×10^1 [W/Pu-k g]
高レベル廃液 ガラス固化建屋	液体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液貯蔵設備	一日平均領域	高レベル濃縮廃液	FP-Kr+ACT-Pu	45	3.5	PWR	60	15	1.28×10^3 [W/t・U _{Pr}]
		一日平均領域	不溶解残渣廃液	Ru+Rh	45	3.5	PWR	60	15	1.61×10^{-1} [W/t・U _{Pr}]
	固体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液 ガラス固化設備	一日平均領域	高レベル廃液	FP-Kr+ACT-Pu	45	3.5	PWR	60	15	1.28×10^3 [W/t・U _{Pr}]

* FP: 核分裂生成物 ACT: アクチノイド Ru: ルテニウム Rh: ロジウム Kr: クリプトン Pu: プルトニウム Am: アメリシウム

1.4.2 各機器が内包する溶液の崩壊熱密度

溶解液(1), 溶解液(2), 抽出廃液, 不溶解残渣廃液, 高レベル廃液及び高レベル濃縮廃液の崩壊熱密度は, 第1. - 9表の崩壊熱及び単位 t · U_{PR} 当たりに発生する溶液量から下式により求まる。

$$\text{崩壊熱密度} = \frac{\text{崩壊熱}}{\text{発生量}^*} \times \text{補正係数}$$

* 標準化学処理工程図から求められる発生量

各機器の崩壊熱密度を第1. - 3表, 第1. - 4表及び第1. - 7表に示す。
硝酸プルトニウム溶液の崩壊熱密度は, 第1. - 9表の崩壊熱及びプルトニウム濃度から下式により求まる。

$$\text{崩壊熱密度} = \text{崩壊熱} \times \text{プルトニウム濃度} \times \text{補正係数}$$

各機器の崩壊熱密度を第1. - 5表及び第1. - 6表に示す。

第 1. - 10 表 前処理建屋における各機器が内包する溶液の崩壊熱密度

施設・設備名	機器名	基数	内包する溶液名	発生量 [m ³ /t・U _{Pr}]	崩壊熱 [W/t・U _{Pr}]	補正係数	崩壊熱密度 [W/m ³]
溶解施設 溶解設備	中間ポット	2	溶解液(1)	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
溶解施設 清澄・計量設備	中継槽	2	溶解液(1)				
	リサイクル槽	2	溶解液(1)				
	不溶解残渣回収槽	2	不溶解残渣廃液				
	計量前中間貯槽	2	溶解液(1)				
	計量後中間貯槽	1	溶解液(2)				
	計量・調整槽	1	溶解液(2)				
	計量補助槽	1	溶解液(2)				

[REDACTED] については商業機密のため公開できません。

第 1. - 11 表 分離建屋における各機器が内包する溶液の崩壊熱密度

施設・設備名	機器名	基数	内包する溶液名	発生量 [m ³ /t・U _{Pr}]	崩壊熱 [W/t・U _{Pr}]	補正 係数	崩壊熱密度 [W/m ³]
分離施設 分離設備	溶解液中間貯槽	1	溶解液(2)	■	■	■	■
	溶解液供給槽	1	溶解液(2)				
	抽出廃液受槽	1	抽出廃液				
	抽出廃液中間貯槽	1	抽出廃液				
	抽出廃液供給槽	2	抽出廃液				
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	1	抽出廃液				
	第 8 一時貯留処理槽	1	抽出廃液				
	第 7 一時貯留処理槽	1	抽出廃液				
	第 3 一時貯留処理槽	1	抽出廃液				
	第 4 一時貯留処理槽	1	抽出廃液				
	第 6 一時貯留処理槽	1	抽出廃液				
液体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液濃縮設備 高レベル廃液濃縮系	高レベル廃液供給槽	2 *	高レベル廃液				
	高レベル廃液濃縮缶	2 *	高レベル濃縮廃液				

* 2 基のうち 1 基は長期予備

■ については商業機密のため公開できません。

第 1. - 12 表 精製建屋における各機器が内包する溶液の崩壊熱密度

施設・設備名	機器名	基数	内包する溶液名	Pu濃度 [g-Pu/L]	崩壊熱 [W/kg-Pu]	補正 係数	崩壊熱密度 [W/m ³]
精製施設 プルトニウム精製設備	プルトニウム溶液受槽	1	硝酸プルトニウム溶液	■	■	■	■
	油水分離槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	プルトニウム濃縮缶供給槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	プルトニウム溶液一時貯槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	プルトニウム濃縮液受槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	リサイクル槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	希釈槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	プルトニウム濃縮液一時貯槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	プルトニウム濃縮液計量槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	プルトニウム濃縮液中間貯槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
精製施設 精製建屋一時貯留 処理設備	第 1 一時貯留処理槽	1	硝酸プルトニウム溶液	■	■	■	■
	第 2 一時貯留処理槽	1	硝酸プルトニウム溶液				
	第 3 一時貯留処理槽	1	硝酸プルトニウム溶液				

■ については商業機密のため公開できません。

第1. -13表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における各機器が内包する溶液の崩壊熱密度

施設・設備名	機器名	基数	内包する溶液名	Pu濃度 [g-Pu/L]	崩壊熱 [W/kg-Pu]	補正 係数	崩壊熱密度 [W/m ³]
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	1	硝酸プルトニウム溶液	■	■	■	■
	混合槽	2	硝酸プルトニウム溶液				
	一時貯槽	1	硝酸プルトニウム溶液				

■については商業機密のため公開できません。

第 1. -14 表 高レベル廃液ガラス固化建屋における各機器が内包する溶液の崩壊熱密度

施設・設備名	機器名	基数	内包する溶液名	発生量 [m ³ /t・U _{Pr}]	崩壊熱 [W/t・U _{Pr}]	補正 係数	崩壊熱密度 [W/m ³]
液体廃棄物の廃棄施設 高レベル廃液貯蔵設備	高レベル濃縮廃液貯槽	2	高レベル濃縮廃液				
	高レベル濃縮廃液一時貯槽	2	高レベル濃縮廃液				
	不溶解残渣廃液一時貯槽	2	不溶解残渣廃液				
	不溶解残渣廃液貯槽	2	不溶解残渣廃液				
	高レベル廃液共用貯槽	1	高レベル濃縮廃液*				
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	2	高レベル廃液				
	供給液槽	2	高レベル廃液				
	供給槽	2	高レベル廃液				

* 不溶解残渣廃液を貯蔵する場合もあるが、崩壊熱の厳しい高レベル濃縮廃液貯蔵時の値を記載。

■については商業機密のため公開できません。

1.4.3 物性値

各機器における対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に用いる物性等を、第 1. -15 表から第 1. -19 表に示す。

また、冷却水の比熱、冷却水の密度、冷却水の熱伝導率及び冷却水の粘度は、冷却水の平均温度（=（冷却水入口温度 t_1 + 冷却水出口温度 t_2 ） / 2）または冷却水の壁面温度における、第 1. -20 表に示す値の線形近似値とする。

第 1. - 15 表 前処理建屋の各機器における

対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等

No.	パラメータ	記号	単位	中継槽 (ジャケット)	リサイクル槽 (ジャケット)	不溶解残渣 回収槽 (ジャケット)	計量前 中間貯槽 (コイル)	計量後 中間貯槽 (コイル)	計量・調整槽 (コイル)	計量補助槽 (コイル)	中間ポット (ジャケット)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³	[Redacted]							
2	液量	V	m ³								
3	冷却水入口温度	t ₁	°C								
4	内包液の比熱	C _o	J/kgK								
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³								
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK								
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms								
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹								
9	ジャケット代表長さ	L _o	m	[Redacted]	-	-	-	-	-	[Redacted]	
10	水力相当径	D _e	m		-	-	-	-	-		
11	貯槽厚さ	L	m		-	-	-	-	-		
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK		-	-	-	-	-		
13	冷却コイル厚さ	L	m	-	-	-	[Redacted]				
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK	-	-	-					
15	冷却コイル外径	d'	m	-	-	-					
16	冷却コイル内径	d	m	-	-	-					
17	溶液側汚れ係数	h _{s o}	W/m ² K	[Redacted]							
18	冷却水側汚れ係数	h _{s i}	W/m ² K								

[Redacted] については商業機密のため公開できません。

第 1. - 16 表 分離建屋の各機器における

対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等 (1 / 2)

No.	パラメータ	記号	単位	溶解液 中間貯槽 (コイル)	溶解液 供給槽 (コイル)	抽出廃液 受槽 (コイル)	抽出廃液 中間貯槽 (コイル)	抽出廃液 供給槽 (コイル)	第 1 一時 貯留処理槽 (コイル)	第 8 一時 貯留処理槽 (コイル)	第 7 一時 貯留処理槽 (コイル)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³	[Redacted]							
2	液量	V	m ³								
3	冷却水入口温度	t ₁	°C								
4	内包液の比熱	C _o	J/kgK								
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³								
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK								
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms								
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹								
9	ジャケット代表長さ	L _o	m	-	-	-	-	-	-	-	
10	水力相当径	D _e	m	-	-	-	-	-	-	-	
11	貯槽厚さ	L	m	-	-	-	-	-	-	-	
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK	-	-	-	-	-	-	-	
13	冷却コイル厚さ	L	m	[Redacted]							
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK								
15	冷却コイル外径	d'	m								
16	冷却コイル内径	d	m								
17	溶液側汚れ係数	h _{s.o}	W/m ² K								
18	冷却水側汚れ係数	h _{s.i}	W/m ² K								

[Redacted] については商業機密のため公開できません。

第 1. - 16 表 分離建屋の各機器における

対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等 (2 / 2)

No.	パラメータ	記号	単位	第 3 一 時 貯留処理槽 (コイル)	第 4 一 時 貯留処理槽 (コイル)	第 6 一 時 貯留処理槽 (ジャケット)	高レベル廃液 供給槽 (コイル)	高レベル廃液 濃縮缶 (コイル)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³	■■■■■				
2	液量	V	m ³					
3	冷却水入口温度	t ₁	°C					
4	内包液の比熱	C _o	J/kgK					
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³					
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK					
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms					
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹					
9	ジャケット代表長さ	L _o	m	-	-	■■■■■	-	-
10	水力相当径	D _e	m	-	-	■■■■■	-	-
11	貯槽厚さ	L	m	-	-	■■■■■	-	-
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK	-	-	■■■■■	-	-
13	冷却コイル厚さ	L	m	■■■■■		-	■■■■■	
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK			-		
15	冷却コイル外径	d'	m			-		
16	冷却コイル内径	d	m			-		
17	溶液側汚れ係数	h _{s.o}	W/m ² K	■■■■■				
18	冷却水側汚れ係数	h _{s.i}	W/m ² K					

■■■■■については商業機密のため公開できません。

第 1. - 17 表 精製建屋の各機器における

対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等 (1 / 2)

No.	パラメータ	記号	単位	プラトニウム 溶液受槽 (コイル)	油水分離槽 (コイル)	プラトニウム 濃縮缶 供給槽 (コイル)	プラトニウム 溶液 一時貯槽 (コイル)	プラトニウム 濃縮液受槽 (コイル)	リサイクル槽 (コイル)	希釈槽 (コイル)	プラトニウム 濃縮液 一時貯槽 (コイル)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³								
2	液量	V	m ³								
3	冷却水入口温度	t ₁	°C								
4	内包液の比熱	C _o	J/kgK								
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³								
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK								
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms								
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹								
9	ジャケット代表長さ	L _o	m	-	-	-	-	-	-	-	
10	水力相当径	D _e	m	-	-	-	-	-	-	-	
11	貯槽厚さ	L	m	-	-	-	-	-	-	-	
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK	-	-	-	-	-	-	-	
13	冷却コイル厚さ	L	m								
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK								
15	冷却コイル外径	d'	m								
16	冷却コイル内径	d	m								
17	溶液側汚れ係数	h _{s o}	W/m ² K								
18	冷却水側汚れ係数	h _{s i}	W/m ² K								

■については商業機密のため公開できません。

第 1. - 17 表 精製建屋の各機器における

対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等 (2 / 2)

No.	パラメータ	記号	単位	プラトニウム 濃縮液 計量槽 (コイル)	プラトニウム 濃縮液 中間貯槽 (コイル)	第 1 一時 貯留処理槽 (コイル)	第 2 一時 貯留処理槽 (コイル)	第 3 一時 貯留処理槽 (コイル)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³	■	■	■	■	■
2	液量	V	m ³					
3	冷却水入口温度	t ₁	°C					
4	内包液の比熱	C _o	J/kg K					
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³					
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK					
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms					
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹					
9	ジャケット代表長さ	L _o	m	-	-	-	-	-
10	水力相当径	D _e	m	-	-	-	-	-
11	貯槽厚さ	L	m	-	-	-	-	-
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK	-	-	-	-	-
13	冷却コイル厚さ	L	m	■	■	■	■	■
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK					
15	冷却コイル外径	d'	m					
16	冷却コイル内径	d	m					
17	溶液側汚れ係数	h _{so}	W/m ² K					
18	冷却水側汚れ係数	h _{si}	W/m ² K					

■ については商業機密のため公開できません。

第 1. - 18 表 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の各機器における
対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等

No.	パラメータ	記号	単位	硝酸 プルトニウム 貯槽 (ジャケット)	混合槽 (ジャケット)	一時貯槽 (ジャケット)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³	■	■	■
2	液量	V	m ³			
3	冷却水入口温度	t ₁	°C			
4	内包液の比熱	C _o	J/kgK			
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³			
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK			
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms			
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹			
9	ジャケット代表長さ	L _o	m			
10	水力相当径	D _e	m			
11	貯槽厚さ	L	m			
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK			
13	冷却コイル厚さ	L	m			
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK	-	-	-
15	冷却コイル外径	d'	m	-	-	-
16	冷却コイル内径	d	m	-	-	-
17	溶液側汚れ係数	h _{so}	W/m ² K	■	■	■
18	冷却水側汚れ係数	h _{si}	W/m ² K			

■については商業機密のため公開できません。

第 1. -19 表 高レベル廃液ガラス固化建屋の各機器における
対数平均温度差及び総括伝熱係数の計算に使用する物性値等

No.	パラメータ	記号	単位	高レベル濃縮廃液貯槽 (コイル)	高レベル濃縮廃液一時貯槽 (コイル)	高レベル廃液混合槽 (コイル)	供給液槽 (コイル)	供給槽 (コイル)	不溶解残渣廃液一時貯槽 (ジャケット)	不溶解残渣廃液貯槽 (ジャケット)	高レベル廃液共用貯槽 (コイル)
1	崩壊熱密度	P	W/m ³	■							
2	液量	V	m ³								
3	冷却水入口温度	t ₁	°C								
4	内包液の比熱	C _o	J/kgK								
5	内包液の密度	ρ _o	kg/m ³								
6	内包液の熱伝導率	λ _o	W/mK								
7	内包液の粘度	μ _o	kg/ms								
8	内包液の体膨張係数	β	K ⁻¹								
9	ジャケット代表長さ	L _o	m	-	-	-	-	-	■	-	
10	水力相当径	D _e	m	-	-	-	-	-	■	-	
11	貯槽厚さ	L	m	-	-	-	-	-	■	-	
12	貯槽の熱伝導率	λ	W/mK	-	-	-	-	-	■	-	
13	冷却コイル厚さ	L	m	■					-	-	■
14	冷却コイルの熱伝導率	λ	W/mK						-	-	■
15	冷却コイル外径	d'	m						-	-	■
16	冷却コイル内径	d	m						-	-	■
17	溶液側汚れ係数	h _{s o}	W/m ² K	■							
18	冷却水側汚れ係数	h _{s i}	W/m ² K								

■ については商業機密のため公開できません。

第 1. -20 表 冷却水の比熱, 冷却水の密度, 冷却水の熱伝導率及び冷却水の粘度

No.	冷却水の温度 [°C]	伝熱工学資料 改訂第 5 版 ⁽⁴⁾			
		比熱 C_i [kcal/kg°C]	密度 ρ_i [kg/m ³]	熱伝導率 λ_i [kcal/mh°C]	粘度 μ_i [Pa · s]
1	20	0.9996	998.2	0.5155	1.002E-03
2	25	0.9990	996.9	0.5221	8.997E-04
3	30	0.9984	995.6	0.5288	7.974E-04
4	35	0.9983	993.9	0.5347	7.252E-04
5	40	0.9981	992.2	0.5405	6.530E-04
6	45	0.9983	990.1	0.5456	5.999E-04
7	50	0.9984	988.0	0.5507	5.468E-04
8	55	0.9987	985.6	0.5552	5.066E-04
9	60	0.9991	983.2	0.5596	4.664E-04
10	65	0.9997	980.5	0.5634	4.352E-04
11	70	1.0003	977.7	0.5672	4.039E-04
12	75	1.0012	974.8	0.5703	3.791E-04
13	80	1.0022	971.8	0.5735	3.543E-04
14	85	1.0033	968.6	0.5761	3.344E-04
15	90	1.0043	965.3	0.5787	3.144E-04
16	95	1.0058	961.9	0.5807	2.981E-04
17	100	1.0072	958.4	0.5828	2.817E-04