

< 別添 >

再処理施設 分離建屋における安全上重要な機器の故障について

(最 終 報 告)

【改 正 版】

平成27年12月7日

日本原燃株式会社

目 次

1. 件名	1
2. 発生日時	1
3. 発生場所	1
4. 発生事象の概要	1
5. 当該設備の故障に伴う代替安全措施及び当該設備の故障状況	1
5. 1 当該設備の故障に伴う代替安全措施	1
5. 2 当該設備の故障状況	2
6. 故障範囲の調査及び復旧	3
6. 1 同時期に故障が確認された機器範囲	3
6. 2 故障が確認された設備の復旧作業	5
6. 2. 1 当該設備の復旧作業	5
6. 2. 2 同時期に故障が確認された機器の復旧作業	5
7. 原因調査	6
7. 1 要因分析	6
7. 2 調査項目	6
7. 3 専門家の協力	7
7. 4 落雷の実績及び影響評価	7
7. 4. 1 落雷の発生状況等の調査	7
7. 4. 2 故障が確認された機器の調査	10
7. 4. 3 事象発生後に故障を確認した機器以外の機器の調査	12
7. 4. 4 再処理施設の従来耐雷設計等	13
7. 4. 5 故障した機器と伝送ケーブルの関係	17
7. 4. 6 誘導伝播挙動シミュレーション	18
7. 5 落雷による機器故障に至ったメカニズム	19
7. 6 推定原因	21
8. 推定原因に基づく対策	23
8. 1 設備対応	23
8. 2 運転管理における対応	29
8. 2. 1 設備対応完了までの対応	30
8. 2. 2 設備対応完了以降の対応	31
8. 2. 3 代替監視手段の整備	33
9. 今後の対応	35

- 添付資料－ 1 再処理事業所 構内配置図
- 添付資料－ 2 分離建屋の高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿及び分離建屋塔槽類廃ガス処理設備概要
- 添付資料－ 3 事象発生当時のトレンドデータ
- 添付資料－ 4 時系列
- 添付資料－ 5 当該伝送系統の故障状況
- 添付資料－ 6 故障が確認された安全上重要な機器以外の機器の故障状況
- 添付資料－ 7 再処理施設敷地内及び周辺における落雷想定箇所
- 添付資料－ 8 避雷針での落雷痕跡の調査結果
- 添付資料－ 9 安全上重要な機器における故障箇所の調査結果
- 添付資料－ 10 故障が確認された安全上重要な機器の故障状況
- 添付資料－ 11 再処理施設の耐雷設計
- 添付資料－ 12 海洋放出管に係る過去の落雷対策
- 添付資料－ 13 故障が確認された機器に係るケーブル等の配置
- 添付資料－ 14 主排気筒への落雷の雷撃電流の流れ
- 添付資料－ 15 機器が故障したことに対する対策
- 添付資料－ 16 施設が運転状態にあった場合（適用される状態）における故障が確認された安全上重要な機器への対応

用語集

1. 件名

再処理施設 分離建屋における安全上重要な機器の故障について

2. 発生日時

平成27年8月2日（日） 18時52分頃 （高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受血液位計の故障）

平成27年8月2日（日） 20時30分頃 （塔槽類廃ガス処理設備廃ガス洗浄塔入口圧力計*の故障）

※塔槽類廃ガス処理設備の分離建屋塔槽類廃ガス処理設備の廃ガス洗浄塔に係る計測制御設備の廃ガス洗浄塔入口圧力（以下、「塔槽類廃ガス処理設備廃ガス洗浄塔入口圧力計」という。）

3. 発生場所

再処理施設 分離建屋（添付資料－1参照）

4. 発生事象の概要

平成27年8月2日 18時52分頃 分離建屋高レベル廃液供給槽及び高レベル廃液濃縮缶からセル内の漏えい液受皿への液体状の放射性物質の漏えいを検知する「高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受血液位計」（安全上重要な機器）のB系の異常を示す警報が発報するとともに、同A系の指示値が表示されない状態となった。なお、当該漏えい液受血液位計の検知対象である高レベル廃液供給槽及び高レベル廃液濃縮缶の機器において液位の変動がないこと及び液の移送を行っていないことを確認したことから、当該機器からの漏えいは発生していないと判断した。

また、同日20時30分頃 「塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計」（安全上重要な機器）のA系及びB系に係る、安全系監視制御盤における表示が正しくないことを確認した（警報の発報なし）。上記圧力計の故障により廃ガス洗浄塔の入口圧力は測定できない状態であるものの、同系統の他の計器により分離建屋の負圧が維持されていることを確認した。トレンドデータの確認により、18時53分頃から指示値が変動していることを確認した。（故障の確認された上記4機器を以下、「当該設備」という。）

当該設備概要を添付資料－2、事象発生当時のトレンドデータを添付資料－3、時系列を添付資料－4に示す。

5. 当該設備の故障に伴う代替安全措施及び当該設備の故障状況

5. 1 当該設備の故障に伴う代替安全措施

(1) 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受血液位計

高レベル廃液供給槽セルの漏えい液受血液位計の故障によりセル内の漏

えい液受皿への液体状の放射性物質の漏えいの検知ができない状態となっていることを受け、高レベル廃液供給槽及び高レベル廃液濃縮缶について以下を確認し、当該機器からのセルへの漏えいは発生していないと判断した。

- ・事象発生前後で高レベル廃液供給槽及び高レベル廃液濃縮缶の液位に変動がないこと
- ・高レベル廃液供給槽及び高レベル廃液濃縮缶に係る液移送を実施していないこと
- ・事象発生時に高レベル廃液供給槽セルのセル内漏えい検知モニタの指示値に異常がないこと

また、漏えい液受血液位計の故障を受け、漏えい液受血液位計の復旧までの間は、高レベル廃液供給槽及び高レベル廃液濃縮缶に係る液移送を禁止し、運転員による監視（塔槽類の液位の減少等がないこと）を強化することとした。

(2) 塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計

塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計の故障により廃ガス洗浄塔の入口圧力が測定できない状態であることを受け、廃ガス洗浄塔出口圧力計の指示値及び排風機入口圧力計の指示値が負圧であることから、分離建屋塔槽類廃ガス処理設備の負圧が維持されていることを確認した。

また、当該圧力計の故障を受け、分離建屋塔槽類廃ガス処理設備について廃ガス洗浄塔内の負圧を強制的に維持する運転状態とする保守モードへの移行を実施するとともに、廃ガス洗浄塔入口圧力計の復旧までの間は、保守モードでの運転を継続し、廃ガス洗浄塔出口圧力計及び排風機入口圧力計の指示値について運転員による監視を強化することとした。

5. 2 当該設備の故障状況

事象発生後、当該設備に係る現場調査を行った。事象の発生状況から、以下の可能性が高いと考えた。

- ・伝送系の不具合である
- ・制御建屋と分離建屋とを接続している信号伝送ケーブルの接続先のひとつである制御建屋側には、保安器（用語集 参照）が設置されていることから、不具合を発生させている箇所は、分離建屋側の信号伝送ケーブルを受けるディストリビュータ（用語集 参照）から測定器までの機器である
- ・分離建屋側で信号伝送ケーブルを最初に受ける機器であるディストリビュータが故障している

そのため、分離建屋に設置されているディストリビュータを取り外し、単体試験を実施した結果、所定の出力がなされず故障であることを確認した。

ディストリビュータの故障状況について、添付資料－5に示す。

6. 故障範囲の調査及び復旧

当該設備以外にも同時期に故障した可能性があったことから、故障した機器の範囲について調査を行うとともに、故障が確認された機器の復旧を行うこととした。

6. 1 同時期に故障が確認された機器範囲

(1) 調査内容

事象発生当時、通報対象とした安全上重要な機器の故障は、高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受皿液位計及び塔槽類廃ガス処理設備廃ガス洗浄塔入口圧力計であり、これらの安全上重要な機器は、事象発生当時、保安規定に定める適用される状態（用語集 参照）にあった。

上記以外の安全上重要な機器で、事象発生当時、保安規定に定める適用される状態になっていなかった機器のうち、設備の運転状態を示す指示値や警報状態の確認により実施し、中央制御室において警報が発報又は指示値に通常と異なる変化が確認された機器に対し、同様の不具合が発生していないか調査を行った。

また、共通要因によって複数の機器に同時に不具合が発生していることを踏まえ、安全上重要な機器以外の機器及び再処理施設の運転管理業務に使用している端末を含め同様の不具合が発生していないか調査を行うこととした。

(2) 調査結果

調査の結果、安全上重要な機器については、前処理建屋「溶解槽B放射線レベル」、分離建屋「高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度A」、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋「粉末充てん第2秤量器 質量B」等、下表に示す11機器（保安規定に定める適用される状態になっていなかった機器）が故障していることを確認した。その結果、安全上重要な機器で、落雷の影響により故障が発生したと考えられる機器は、当該設備を含め、15機器であることを確認した。

なお、現状使用していない分離建屋高レベル廃液濃縮缶の長期予備に係る機器についても、分離建屋における故障機器対象制御盤内にあり、同じ設備構成であることから、故障している可能性が高いと判断した。

建屋	機器名称
前処理建屋	溶解槽B放射線レベル
	ミストフィルタA1、A2入口ガス圧力
分離建屋	高レベル廃液濃縮缶凝縮器A出口廃ガス温度A
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器A出口廃ガス温度B
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度A
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度B
	放射性配管分岐第2セル漏えい液受皿2液位A
	放射性配管分岐第2セル漏えい液受皿2液位B
	ウラン濃縮缶加熱蒸気温度A
ウラン濃縮缶加熱蒸気温度B	
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	粉末充てん第2秤量器 質量B

また、安全上重要な機器以外の機器については、前処理建屋「計量後中間貯槽液位」、分離建屋「水素掃気用安全圧縮空気圧力A」、海洋放出管「海洋放出管 A1系センサ」等、下表に示す14機器が故障していることが確認された。

故障が確認された安全上重要な機器以外の機器の故障状況については、添付資料-6に示す。

建屋	機器名称
前処理建屋	計量後中間貯槽液位
分離建屋	水素掃気用安全圧縮空気圧力A
	水素掃気用安全圧縮空気圧力B
	フラッシュドラムA 水位
	フラッシュドラムB 水位
海洋放出管	海洋放出管 A1系センサ
	海洋放出管 A2系センサ
	海洋放出管 A4系センサ
	海洋放出管圧力
北換気筒	屋外ヒータB温度
淡水取水設備	貯水池(東)水位
制御建屋	火災報知盤・防災盤に係る中継器
主排気筒管理建屋	火災報知盤・防災盤に係る中継器
試薬建屋	火災報知盤・防災盤に係る中継器

なお、電気設備等の設備に異常が発生していないことを確認するとともに、他の一般汎用機器については、使用状態に問題がないことを合わせて確認している。

6. 2 故障が確認された設備の復旧作業

6. 2. 1 当該設備の復旧作業

(1) 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受血液位計

8月3日22時50分頃、高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受血液位計のA系について、故障が確認されたディストリビュータを交換し、指示値が正常であること、ループ試験（現場計器の指示が正しく伝送され、監視制御盤等で正しく表示されることを確認するための構成される一連の設備を統合した機能確認試験）により設備が健全な状態に復旧したことを確認した。

8月4日19時30分頃、高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受血液位計のB系について、同様の作業を行い、設備が健全な状態に復旧したことを確認した。

(2) 塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計

8月3日23時頃、漏えい液受血液位計と同様に、塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計のA系について、ディストリビュータを交換し、指示値が正常であること、ループ試験により設備が健全な状態に復旧したことを確認した。

8月4日21時頃、塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計のB系について、同様の作業を行い、設備が健全な状態に復旧したことを確認した。

6. 2. 2 同時期に故障が確認された機器の復旧作業

6. 2. 1で示した機器を含めた故障が確認された安全上重要な機器については、8月13日までに全て復旧した。

また、安全上重要な機器以外の機器については、8月28日までに全て復旧した。

7. 原因調査

7. 1 要因分析

多数の計器が同時に故障した事象であることから、幅広くその可能性について検討を行った。要因として、計器単独故障の重畳、過電圧、過電流、落雷、外力が想定されるが、調査の結果、落雷の影響による故障以外の要因の可能性は低いことを確認した。(下表参照)

想定要因	要因内容	調査項目・方法	確認結果	推定
計器単独故障の重畳	部品の劣化等の同時発生による故障	至近の点検結果	異常なし	×
		発生状況	同時刻に故障発生のため可能性低	
電源側過電圧による絶縁破壊	電源側事故に伴う過電圧の印加により計器の耐電圧を超えて故障	電源系統の電圧に変化のないこと	UPS 通常運転を確認	×
		電源系統の保護装置が作動していないこと	保護装置作動なし	
系統過電流による焼損	系統側の地絡等に伴う過電流により計器側が焼損し故障	目視確認(対象機器外観)	異常なし	×
		現場盤確認・警報確認	電気故障警報発生なし	
		系統回路の保護装置が作動していないこと	保護装置作動なし	
落雷に伴う雷サージによる損傷	落雷に伴う影響(雷サージ)により故障	気象状況確認	落雷が確認されている	○
		落雷による故障	同時刻に故障発生のため可能性高	
過大な外力による故障	地震等により機器に過大な外力が働き故障(地震計が動作)	地震の発生	地震の観測なし	×
		外的要因	地震以外に別々の部屋の計器に対し同時に外力を加えることができない	

×：可能性低 ○：可能性高

7. 2 調査項目

要因分析の結果、今回の事象は落雷の影響により発生した可能性が高いことから、安全上重要な機器の同時故障の原因調査として、以下を実施することとした。

(1) 落雷の実績及び影響評価

- ① 落雷の発生状況調査：落雷の位置データ・電流データ整理、マップへの落とし込み、落雷地点評価結果に基づく落雷想定箇所の調査、避雷針調査
- ② 故障が確認された機器の調査：故障が確認された機器内部を確認し、

機器の故障状況を調査する。

- ③ 事象発生後に故障を確認した以外の機器の調査：故障が潜在している可能性を考慮した機器の調査
- ④ 再処理施設の耐雷設計の整理
- ⑤ 故障した機器と伝送ケーブルの関係：故障した機器と信号伝送ケーブルの位置関係把握
- ⑥ 誘導伝播挙動シミュレーション：落雷場所からの雷撃電流の流れ等の解析による評価

(2) 落雷による機器故障に至ったメカニズム：①の結果を踏まえ、落雷影響範囲と設備構成の関係及び落雷の影響メカニズムを整理

7. 3 専門家の協力

今回の事象が落雷の影響により発生した可能性が高いことを踏まえ、社内の体制に加え、雷や雷害対策に関する知見の豊富な専門家(学識者・団体・企業)として、大学教授2名、研究機関1機関、通信系事業者1社の協力を得て原因調査及び対策に係る検討を進めた。

- ① 大学教授(高電圧・電磁環境工学、自然雷研究に関する第一人者)
- ② 大学教授(雷サージ解析に関する第一人者)
- ③ 研究機関(高電圧・雷害対策に関する専門知識)
- ④ 通信系事業者(通信系雷害対策に関する専門知識)

また、原因調査等の実施に当たって、検討の節目で専門家からの意見を聴取しながら検討を進めた。

- ① 事象発生段階の概要説明：専門家個別に訪問し意見聴取
- ② 現地調査、メーカ調査結果、原因と対策の方向性確認：専門家を招きメーカ側調査担当者との合同会議を現地にて開催
- ③ 報告書取りまとめに係る意見聴取：専門家個別に意見聴取

7. 4 落雷の実績及び影響評価

7. 4. 1 落雷の発生状況等の調査

事象発生当時(18時52分頃)、六ヶ所地域では多数の落雷が発生していたことから、落雷の発生状況等について調査を行った。

(1) 落雷が想定される箇所

JLDN(Japan Lightning Detection Network)(落雷の位置や雷撃電流の大きさを観測するシステム)の記録から事象発生当時の再処理施設敷地内及び周辺における落雷想定箇所の調査を行った。

調査の結果、再処理施設敷地内の数箇所に落雷があった可能性が考えら

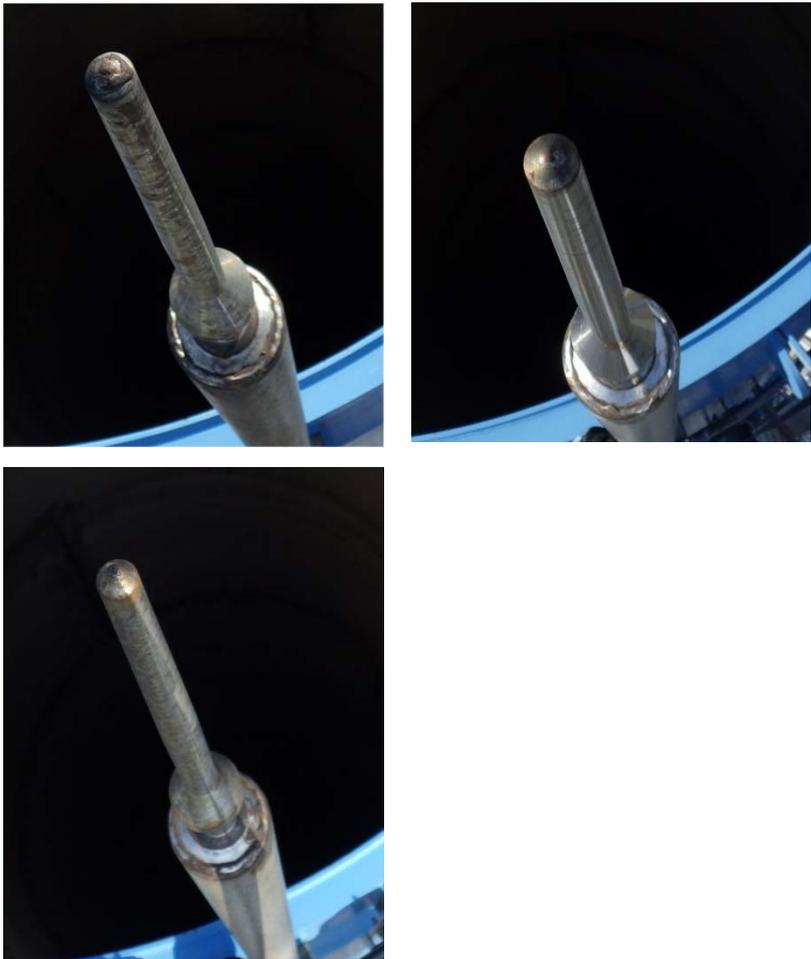
れる。事象発生当時の再処理施設敷地内及び周辺における落雷想定箇所を添付資料－ 7 に示す。

再処理施設敷地内での落雷想定範囲（落雷想定箇所を中心とした半径 500 m の範囲）の中で最も大きい雷撃電流の波高値（雷撃の最大電流値）は、値に誤差はあるものの、196 kA を示しており、当該落雷想定範囲の中で最も高さが高い主排気筒に落雷した可能性が考えられる。

それ以外にも上記の落雷想定範囲よりも雷撃電流は小さいものの、敷地西側や敷地南側にも落雷想定範囲が及んでいることを確認した。

（2）落雷痕跡調査

目視等により主排気筒、分離建屋、北換気筒及び低レベル廃棄物処理建屋換気筒に設置されている避雷針における落雷痕跡の調査を行った。（添付資料－ 8）

対象	調査状況	結果
主排気筒	主排気筒に設置されている避雷針 3 本に対して調査を行った。 	1 本について落雷によるものと思われる熔融痕が確認された。ただし今回の落雷によるものかは不明。 （写真左上参照）

対象	調査状況	結果
分離建屋	<p data-bbox="411 320 1281 398">分離建屋に設置されている避雷針 1 2 本に対して調査を行った。</p>    	<p data-bbox="1305 320 1485 450">落雷の痕跡は確認されなかった</p>
北換気筒	<p data-bbox="411 1335 1281 1413">北換気筒に設置されている避雷針 4 本に対して調査を行った。</p>  	<p data-bbox="1305 1335 1485 1464">落雷の痕跡は確認されなかった</p>

対象	調査状況	結果
		
低レベル 廃棄物処理建屋換気筒	低レベル廃棄物処理建屋換気筒に設置されている避雷針1本に対して調査を行った。 	落雷の痕跡は確認されなかった

7. 4. 2 故障が確認された機器の調査

故障が確認されたディストリビュータ等に対し、故障箇所及び故障原因に係る調査を行った。

安全上重要な機器に対する調査結果の概要は、以下のとおりである。(添付資料-9参照)

建屋	機器名称	メーカー工場での調査結果
前処理建屋	溶解槽B放射線レベル	故障したディストリビュータに対して、外観確認等を行い、出力部の定電圧ダイオード(ツェナーダイオード)の変色、出力部の電源回路の出力電圧に異常を確認

	ミストフィルタ A1、A2 入口ガス圧力	故障したディストリビュータに対して、外観確認等を行い、出力回路内のトランジスタで短絡故障を確認
分離建屋	高レベル廃液供給槽セル漏えい液受血液位	故障したディストリビュータに対して、外観確認等を行い、出力回路のオペアンプ集積回路とトランジスタの部位に故障を確認 ⇒一般的な半導体の故障原因である過電圧破壊による短絡故障
	廃ガス洗浄塔入口圧力	
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度	
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度	
	放射性配管分岐第 2 セル漏えい液受皿 2 液位	
	ウラン濃縮缶加熱蒸気温度	
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	粉末充てん第 2 秤量器 質量 B	故障したディストリビュータに対して外観確認等を行い、アナログ出力基板に通信不良を確認

故障が確認された部品の調査の結果及び故障が発生した際に信号出力がなくなっていたことなど（その結果、指示値の表示が通常と異なる状態となった）から、過電圧による影響によりディストリビュータの出力側（各建屋から制御建屋に信号を送る部分）に故障が発生していることが確認された。ただし、計器内の基板や配線、端子部などに焼損等は確認されなかった。

なお、安全上重要な機器以外の機器についても故障状態は同様であった。

また、同時刻に複数の機器に故障が確認されていること及び事象発生当時、六ヶ所地域及び再処理施設敷地内において複数の落雷が確認されていることから、当該設備を含む複数の設備の故障が発生した原因は、落雷が共通要因となったと考えられる。

安全上重要な機器については多重化し、その多重化した機器が共通要因によって同時に機能喪失することがないことが要求されている。

複数の機器が落雷という共通要因によって同時に機能喪失したことに対する原因究明として、事象発生当時の落雷の発生状況及び再処理施設の耐雷設計等に係る調査を行うこととした。

また、落雷の影響には、直撃雷（用語集 参照）と間接雷（用語集 参照）

があり、直撃雷の場合は、非常に大きな電流が流れるため、機器の破損の状況は非常に大きなものになるが、今回の故障した機器の調査において確認された損傷は、範囲が限定的（オペアンプなどの素子が損傷を受けたものの、計器内の基板や配線、端子部などに焼損等は確認されなかった）であった。

そのため、今回の故障が発生した要因としては、落雷によって誘起された過電圧による可能性が高く（間接雷）、特に分離建屋等で確認された機器の故障については、各建屋と制御建屋間に接続しているケーブルの保安器が設置されていない建屋入口側に近い部位に確認されていることから、主排気筒への落雷により発生した電位上昇による過電圧の影響で故障が発生した可能性が高い。

7. 4. 3 事象発生後に故障を確認した機器以外の機器の調査

事象発生後に同時に故障が発生した機器に対する調査については、「6. 1 同時期に故障が確認された機器範囲」に示したとおり実施したが、それ以外の計測制御設備に対し、専門家の意見も踏まえ、故障が潜在している可能性を考慮し、以下の観点でさらに調査を実施した。なお、長期予備に係る機器は、分離建屋における故障機器対象制御盤内にあることから、故障の可能性が高いと判断し、事象発生の原因と推定していた落雷メカニズムの分析のために、より多くのサンプルを確認すべきと判断し、調査対象とした。

- (1) 故障が確認された機器と同一の多芯ケーブルに接続されている機器
故障が確認された機器と同一の多芯ケーブルに接続されている機器については指示値が落雷前後で変化はなく、異常は確認されていないが、落雷による誘導の影響を否定できないことから、点検を実施した。
- (2) 設備の運転が停止している（圧力計の指示を必要とする運転を行っていない等）ため通常指示値がオーバースケールまたはダウンスケールしている機器
設備の運転が停止しているため指示値がオーバースケールまたはダウンスケールしている機器については、故障に伴う指示値変動が潜在している可能性があることから、点検を実施した。
- (3) 分離建屋における機器の故障が確認された制御盤内にある他の機器
多数の機器の故障が確認された分離建屋において、故障した機器が設置された安全系制御盤内の故障が確認されていない機器について、点検を実施した。（建屋間メタルケーブルで取合っていない機器の代表として点検を実施）

その結果、(1) 及び (2) の点検において、以下の安全上重要な機器に

故障が確認された。

- ・前処理建屋 ミストフィルタC1, C2 入口ガス圧力 (1)
- ・分離建屋 高レベル廃液濃縮缶長期予備の高レベル廃液濃縮缶凝縮器B 出口廃ガス温度A

これにより、今回の落雷の影響により故障が発生した安全上重要な機器は、17機器となった。

故障が確認された安全上重要な機器の故障状況については、添付資料-10に示す。

7. 4. 4 再処理施設の従来の耐雷設計等

(1) 再処理施設の耐雷設計 (添付資料-11)

再処理施設の耐雷設計については、社内規程で以下のとおり規定しており、これは JEAG4608「原子力発電所の耐雷指針」に準拠している。

雷サージ (用語集 参照) による影響を軽減するため、電力設備及び計測制御設備に対する雷サージの侵入、伝播経路を考慮し、雷サージの侵入を抑制する対策を施す。抑制策を施すに当たっては、以下の規模の雷撃を想定する。

最大想定雷撃電流

波高値	150 kA
波頭値	2 μ sec
波尾値	70 μ sec

波高値：最大電流値

波頭値：最大電流に達するまでの時間

波尾値：最大電流の 1/2 に低下するまでの時間

雷サージによる影響を軽減するため、雷インパルス絶縁耐力の大きい電力設備と雷インパルス絶縁耐力の低い計測制御設備に分けて雷サージ抑制策を講じる。

- 電力設備に侵入する雷サージの抑制
送電線、鉄塔等の送電設備への落雷により発生する雷サージが所内電源設備に侵入し、所内電源設備に被害を与えることを防止するため、架空電線引込口の適切な箇所に避雷器 (用語集 参照) の設置、受電変圧器に避雷器の設置等を行う。
- 計測制御設備に侵入する雷サージの抑制
(接地設計)

- ・雷サージが構内接地系統に侵入した場合に、再処理施設の計測制御回路に侵入する雷サージを抑制するために、網状接地方式等による接地系を設ける。
- ・構内に設ける各接地系は原則 2 箇所以上で接続する、建屋内接地幹線はフロアごとに敷設し各フロア間及び構内接地系とは 2 箇所以上で接続する。
- ・雷サージから保護する必要のある計測制御設備の接地は建屋内接地幹線に接続する等を行う。

(配置、配線設計)

- ・計測制御回路への雷サージの侵入を抑制するため、計測制御ケーブルは大きな雷サージが流れる可能性のある埋設接地線と近接して並行敷設しない。
- ・屋外敷設の計測制御ケーブルは鉄筋コンクリート製トレンチ、ふた付トレイ又は金属製電線管にて敷設する（屋外から建屋への侵入サージの低減化）。
- ・計装ケーブルはシールドケーブルを使用する、ケーブルのシールドの接地は片端接地する等を行う。

(雷サージの影響阻止)

- ・再処理施設構内に落雷があり、屋外に敷設されたケーブルから建屋内に雷サージが侵入した場合に、再処理施設の安全上重要な計測制御設備が機能喪失に至らないよう、予想される雷サージのレベルにより回路区分を行い、回路区分に応じた雷インパルス絶縁耐力を有するものとする。
- ・安全上重要な計測制御設備は適切な雷インパルス絶縁耐力を持たせることが望ましいが、計器・制御設備・計算機等で適切な雷インパルス絶縁耐力を持たせることが困難な場合には、当該設備への雷サージの侵入を阻止するため、保安器の設置等の対策を施す。

以上の考え方にに基づき、主排気筒又は制御建屋への社内規程に示した規模の落雷時におけるケーブルの誘導電圧を想定し、安全上重要な計測制御設備は適切な雷インパルス絶縁耐力を持たせることとし、保安器等の措置は必要ないとした。なお、制御建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋については、万一の事態に備え保安器を設置している。(既設の保安器設置台数は、下表のとおり)

- ① 制御建屋
集中監視システムの中核であるため
- ② 高レベル廃液ガラス固化建屋
安全上重要な計測制御設備で適切な雷インパルス絶縁耐力を持たせることが困難な可能性があるため

建 屋	設置台数
制御建屋	203
高レベル廃液ガラス固化建屋	62

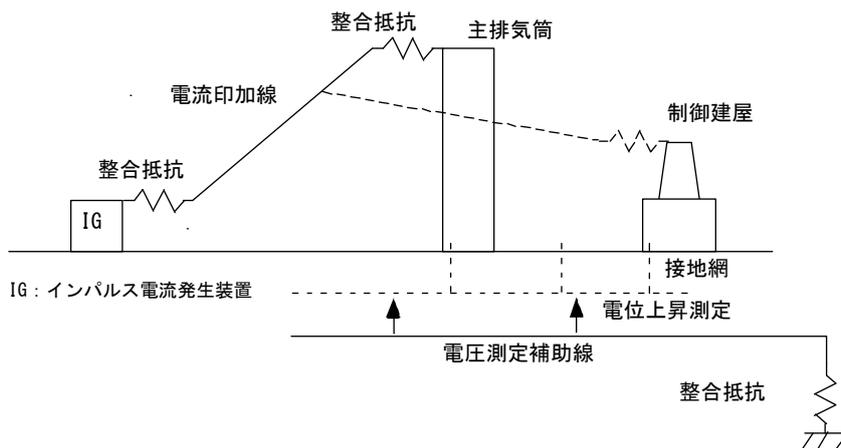
(2) 雷インパルス試験

再処理施設では、耐雷設計の妥当性を確認するために雷インパルス試験を実施している。

雷インパルス試験の目的は、主排気筒等に雷撃を模擬した雷インパルス電流を印加することにより、落雷時における再処理施設の接地網の過渡電位上昇特性及び計装・制御回路等の誘導過電圧特性を把握し、雷撃時の施設への影響を定量的に評価することとした。

a. 試験概要

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



【雷インパルス試験の概要（接地網過渡電位上昇特性測定）】

b. 試験結果

(a) 制御建屋へインパルス電流を印加した場合、主排気筒周辺の接地電

位上昇が確認された。この電位の局所上昇により、トレンチ内に敷設している計測制御ケーブルに計器絶縁破壊強度を超える誘導過電圧が発生する恐れがあることを確認した。

⇒印加点からの距離が遠くなるに従って、低減する傾向にあったものの、主排気筒周辺及びトレンチ近傍では、印加点からの距離による過渡電位上昇の低減効果がみられなかった。

(b) 構内接地系統に接続されていないモニタリングポスト及び海洋放出管電源に絶縁破壊強度を超えるおそれのある誘導過電圧が測定された。

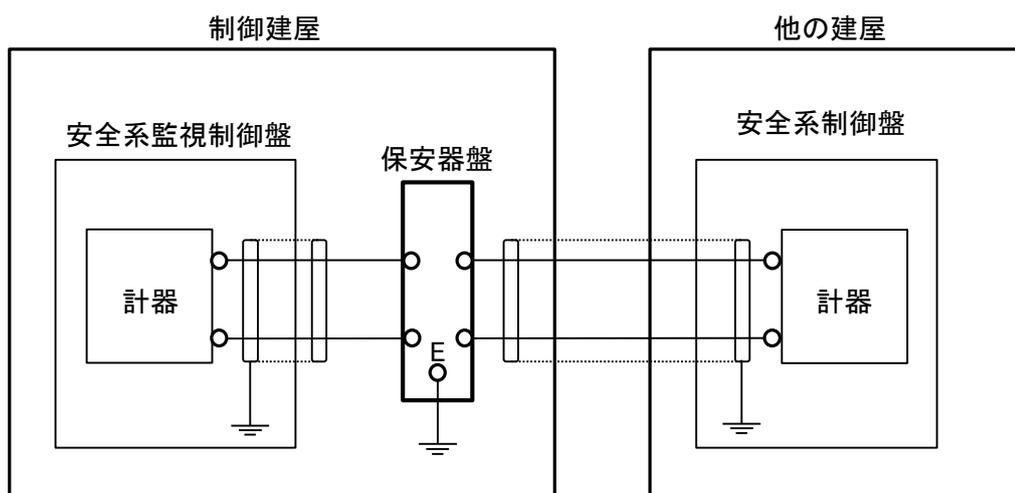
(c) 一部の施設間の計測制御ケーブルに、計器絶縁破壊強度を超えるおそれのある誘導過電圧が測定された。

c. 試験結果を受けた改善策

雷インパルス試験結果に基づき、以下の対策を実施した。

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

今回故障が確認された機器については、雷インパルス試験前に設計として既にケーブルのシールドが保安器を介して両端で片端接地されていた（次図参照）ため、対策を実施する必要はないと評価し、分離建屋等への保安器の設置は行わなかった。



また、海洋放出管については、雷インパルス試験の結果を踏まえ、低レベル廃液処理建屋の入口に、保安器及び絶縁変圧器を設置した。その後20

12年に海洋放出管周辺への落雷で電源ケーブルに雷サージが侵入した影響により、データ伝送ユニットの電源入口の部品が故障（安全上重要な機器以外の機器の故障）したことを受け、無停電電源装置の電源入口側に避雷器を設置するとともに、データ伝送ユニットの電源入口側にノイズフィルタを設置した。

これにより、低レベル廃液処理建屋との取り合いに係る点検室での電源取り込み及び伝送の経路への対策は実施されていたが、再処理施設本体のしゅん工後に使用しなくなる計画の使用済燃料受入れ・貯蔵建屋との取り合い及び現場のセンサからの信号取り合いに対しては対策を実施していなかった（海洋放出管は、現状再処理施設本体が竣工前であることから、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋と再処理施設本体は、別々に海洋放出しているが、再処理施設本体竣工後は、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の廃液は、低レベル廃液処理建屋経由で海洋放出する計画である）。（添付資料－12参照）

7. 4. 5 故障した機器と伝送ケーブルの関係

落雷の影響により故障したと考えられる機器は、アナログ信号を取り合う建屋間のケーブルの現場建屋側に設置されているものである。安全上重要な機器においては、建屋間のケーブル取り合いは、現場建屋側から制御建屋へ指示計の信号、機器動作表示の信号、警報表示の信号があり、このうち指示計の信号取り合いに係る現場建屋側からの出力側に故障が発生している。

指示計の信号とそれ以外（機器動作表示及び警報表示）の信号は、アナログ信号取り合いとデジタル信号取り合いの違いがある。

それ以外に、以下の違いがある。

（アナログ信号：4～20 mA）

- ・制御建屋側に保安器を設置、現場建屋側には保安器を設置していない。
- ・シールドケーブルを採用
- ・片端接地

（デジタル信号）

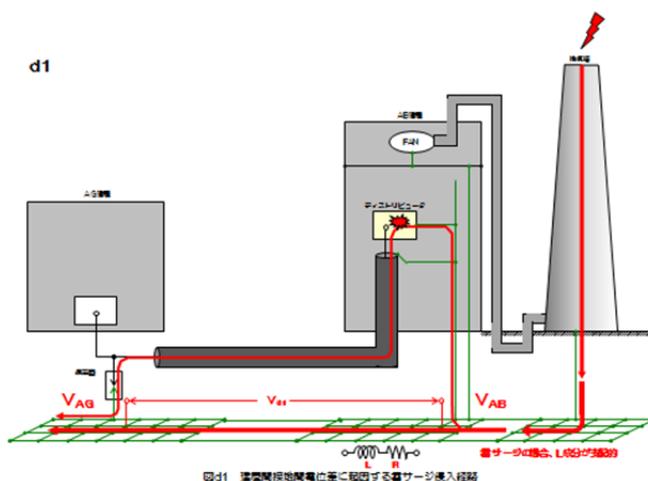
- ・制御建屋側、現場建屋側の双方に保安器を設置していない。
- ・シールドケーブルを採用
- ・両端接地

また、落雷の影響により故障した機器が設置されている建屋と信号伝送ケーブルが敷設されているトレンチを再処理施設の建屋配置図上に示すことで、影響を受けた機器及び主排気筒並びに故障が確認された機器が設置されている建屋は、トレンチで繋がっていることが確認できた。（添付資料－13参照）

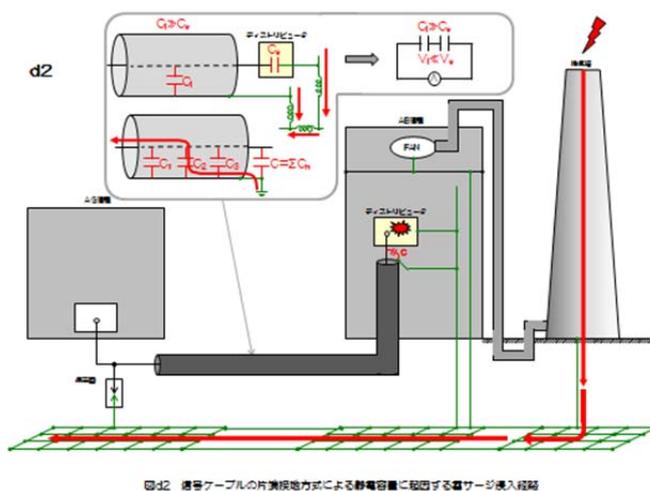
7. 4. 6 誘導伝播挙動シミュレーション

地表面近くにトレンチ等の構造物が埋設されていること、各施設が接続されていること、各施設の接地網も接続されていること等の再処理施設特有の構造から、落雷による雷撃電流の侵入経路は複雑多岐に渡る。

そのため、解析を実施するにあたっては侵入経路の特定が重要であり、現場調査の結果や有識者のご意見も踏まえ、以下の2パターンによる可能性が高いとして検証を実施した。



① 建屋間接地電位差に起因する雷サージ



② 片端接地方式による静電容量に起因する雷サージ

故障した計器の調査において、計器の出力回路に雷インパルス絶縁耐力を超える誘導電圧が発生して故障に至ったことが判明している。解析では、前述の調査で判明した誘導電圧を下回る値であったが、誘導電圧が発生したことを確認した。

7. 5 落雷による機器故障に至ったメカニズム

落雷点として、①主排気筒、②北換気筒、③海洋放出管周辺が想定され、それぞれの落雷による機器故障に至ったメカニズム等について以下に示す。

①主排気筒への落雷

今回観測された中で最も雷撃電流値が大きい196 kAの落雷については、被害が主排気筒から制御建屋にかけての建屋に集中していること、また回転球体法に基づく雷撃距離※（用語集 参照）は300 m程度と想定されることから、落雷点は主排気筒と推定される。

主排気筒への落雷の影響により、前処理建屋、分離建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の安全上重要な機器等に故障が発生したものと考えられる。

これらの故障の多くは主排気筒への落雷の影響により構内接地網との間に発生した電位上昇を起因とした過電圧が建屋間の制御建屋と現場建屋に繋がっている信号伝送ケーブル等に発生し、その結果、保安器が設置されていない現場建屋側の機器を損傷させたものと推定する。（添付資料－14 参照）

雷インパルス試験の結果でも、落雷点から距離が離れるにつれて電位上昇は小さくなることから、主排気筒に近い建屋に被害が集中したものと考えられる。さらには地表面近くにトレンチ等の構造物が埋設されているという再処理施設特有の構造が影響し、出力回路の雷インパルス絶縁耐力を超える誘導電圧が計器の出力回路に印加されたものと考えられる。

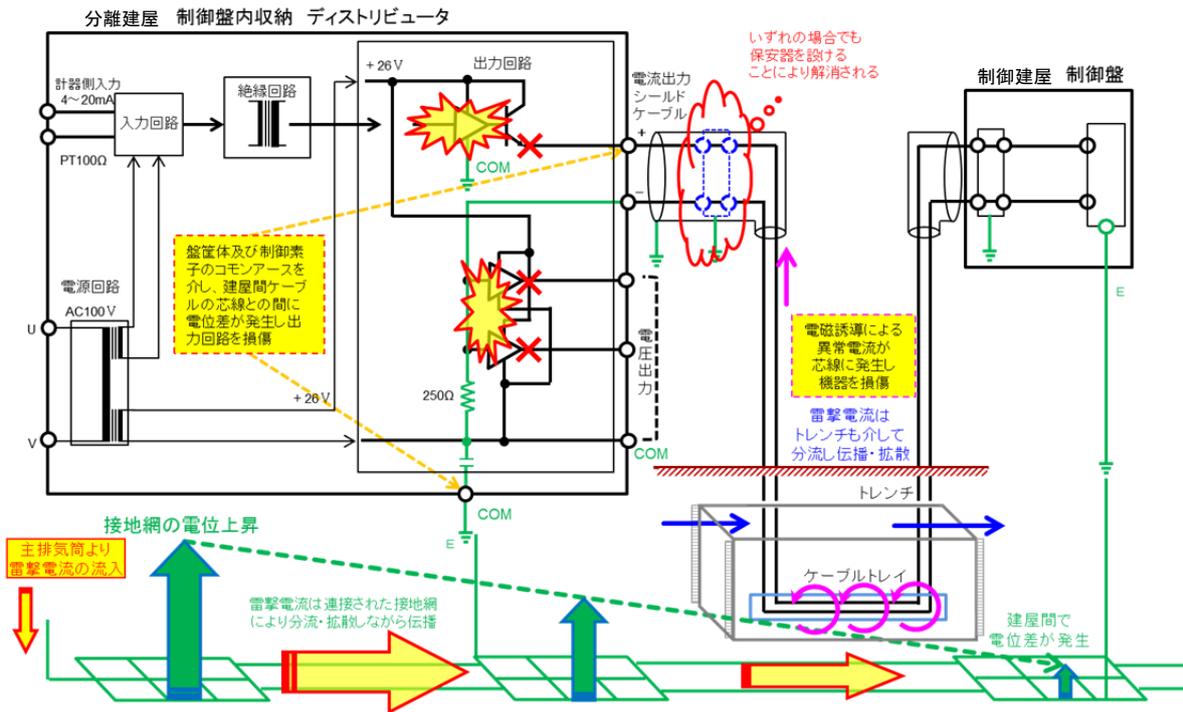
また、主排気筒に近い建屋の機器でも故障していない機器があること、逆に主排気筒から離れているウラン・プルトニウム混合脱硝建屋で故障が確認されていることについては、機器による雷インパルス絶縁耐力の違いによるものと考えられる。

※回転球体法による雷撃距離の評価（出典：JIS Z9290-4:2009）

$$r = 10 \times I^{0.65} = 10 \times 196^{0.65} \doteq 300$$

r：回転球体半径(雷撃距離) [m]

I：電流波高値[kA]



<落雷による故障メカニズム>

②北換気筒への落雷

北換気筒への落雷の影響により故障が発生したのは、北換気筒に設置されたサンプリング配管屋外ヒータの温度調節器である。この屋外ヒータ温度調節ループには、保安器は設置されていなかったことから、北換気筒への落雷による雷撃電流が接地系に向かって通電する際に、筒身に沿って施工されている配管等に誘導電圧が発生し、その結果、温度計測信号線に雷サージが侵入しシールドを経由して当該機器に流れたものと推定する。

③海洋放出管周辺への落雷

海洋放出管周辺への落雷の影響により故障が発生したのは、海洋放出管の漏水検知器、海洋放出管圧力の計測信号を伝達するアイソレータ（用語集 参照）等である。上述のように、海洋放出管については、過去に漏水検知器や警報指示に係る伝送装置を実装する各点検室の電源入力部に避雷器やノイズフィルタを設置する落雷対策を講じていたものの、今回故障が発生した漏えい検知センサや海洋放出管圧力計測信号伝達に係る建屋間ケーブル取合い部には保安器を設置していなかった。

海洋放出管圧力については、建屋間ケーブルの取り合いをしている点検室 No. 2 と使用済燃料・受入れ貯蔵建屋において、落雷による接地電位差が過大となり、点検室 No. 2 内のアイソレータが故障し、使用済燃料・受入れ貯蔵建屋の端子台ユニットの故障を招いたと推定する。

また、漏えい検知については、海洋放出管から漏水検知器に至るセンサ信号ラインに落雷による雷サージが侵入したことにより故障したものと推定している。

7. 6 推定原因

主排気筒への落雷による雷撃電流は、雷サージとなって構内接地網に流れるとともに、地表面近くに埋設されているトレンチ等の構造物に分流しながら伝搬する過程で、信号ケーブルに電圧を誘起させた。この誘導電圧が計器の出力回路に印加し、出力回路の雷インパルス絶縁耐力を超過したことにより、出力回路に取り付けられている部品の損傷に至り、計器を故障させたものと推定される。

また、地表面近くにトレンチ等の構造物が埋設されているという再処理施設特有の構造が影響し、トレンチ等の構造物に分流しながら伝搬して出力回路の雷インパルス絶縁耐力を超える誘導電圧が計器の出力回路に印加されたものとする。

分離建屋から制御建屋に信号を送る計器に多くの計器故障が発生したのは、故障した分離建屋に設置されている計器の出力回路の雷インパルス絶縁耐力が相対的に他の建屋に設置されている計器の出力回路の雷インパルス絶縁耐力よりも低かった、または、分離建屋が主排気筒の近傍にあることから、雷サージによる誘導電圧の影響が高めに影響したことにより、多くの計器故障が発生したものと推定される。

なお、制御盤の電源は各建屋内の非常用分電盤から給電していることから、電源回路に影響を及ぼす誘導電圧は発生しなかったと想定される。

再処理施設の信号伝送ケーブルは、建屋間を跨いで繋がっており、且つそれが地表面近くに設置されたトレンチ内を通過していることから、今回の事象に見られるように、落雷により発生する雷撃電流の影響が保安器を設置していない各建屋側に及ぶことが考えられる。そのため、安全上重要な施設のケーブル取り合い部には、保安器を設置し、重要な設備に対する雷サージの影響阻止を講じることが望ましかったと考えるが、今回の事象では、落雷の影響が上述のようにトレンチ内を通過しているケーブルに影響し、安全上重要な施設のケーブル取り合い部に保安器を設置していなかった部分で、相対的に雷インパルス絶縁耐力が低い機器が故障に至った。

上記のことから、今回の落雷において、例えば分離建屋に保安器が設

置かれていれば、保安器で誘導過電圧の影響が吸収され、ディストリビュータに影響が及ぶことはなく、安全上重要な機器の故障は発生しなかったものとする。

一方、アナログ信号を建屋間で取り合う制御建屋側には保安器が設置されているため、保安器が有効に機能することにより誘導電圧から計器が保護されて故障が生じなかったものと推定される。

なお、分離建屋から制御建屋には警報回路等の接点信号も伝送しているが、これらの接点信号に用いられるリレーは、絶縁耐力が高いことから、今回故障には至っていないと推定される。また、故障した計器は全て信号ラインであり、電源回路には異常は認められていないことから、電源からの雷サージ侵入や電源の故障によるものではないと推定される。

海洋放出管で確認された事象については、これまでの落雷の影響を踏まえた対策を実施していなかった部分で故障が発生していることから、当時の対策の範囲が事象を踏まえた限定的なものであったことが原因と考える。

8. 推定原因に基づく対策

8. 1 設備対応

故障した計器（ディストリビュータ）については、二次災害に発展する可能性のある発火・発煙・断線・融着などが確認されておらず、損傷規模が比較的軽度ではあるが、落雷により発生した過電圧により故障に至っていることから、適切に雷サージから保護できる設計とする。計器（ディストリビュータ）が故障したことに対する対策として、建屋間でアナログ信号伝送を行っている計装回路は比較的絶縁耐力が大きくないことから、それぞれの建屋に個別に保安器を設置する。（添付資料－15 参照）

安全上重要な機器に保安器を設置する建屋と設置する台数については、下表のとおりである。

設置する建屋	台数
前処理建屋	約 110
分離建屋	約 80
精製建屋	約 30
ウラン脱硝建屋	約 5
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	約 40
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	約 5

設置する保安器は、絶縁耐力 5 kV のものを計画しており、これにより、今回のような落雷が発生し、アナログ信号取り合い部に雷サージが侵入したとしても、保安器により安全上重要な機器への影響を防止することが可能である。

保安器は、新たに収納盤を設けて設置することから、設置工事に際しては、収納盤の設計・製作、ケーブル配線工事が必要となる。

本収納盤の設置場所の選定と配線・配置設計に際しては、建屋間を跨るケーブルへの雷サージによる影響を防止することを目的に保安器を設置することから、本来、建屋入口近傍への設置が望ましい。しかし、化学薬品漏えい・溢水対策に関わる防護対象区画との干渉などを踏まえ、適切な設置場所の検討が必要であることから、配置設計・耐震設計・配線設計を進め、材料手配後、2016年12月を目途に工事を完了させる。保安器の設置に際し、工事等に必要な許認可手続きを実施する。

なお、今回の落雷による損傷は、建屋間アナログ信号取合いに係る現場建屋側計器であり、デジタル信号取合いに係る制御建屋ならびに現場建屋

側計器の損傷は発生していないこと、ケーブルのシールドは両端接地としているため、誘導電圧を片端接地の1/2に低減できること（過電圧の影響は今回の落雷事象で影響を受けたアナログ信号取り合いの半分になる）から、今回の落雷の発生を考慮しても機能喪失に至る可能性は極めて低いと考え、保安器による防護は不要と評価した。

また、上記対策により、アナログ信号取り合い部に雷サージが侵入した場合の対策として効果は期待できると考えているが、今回の調査を踏まえ、万一の場合に備えて、さらに以下の追加措置を講じることとする。

①分離建屋については、警報設定器がディストリビュータ経由で信号を取合っており、万一ディストリビュータが故障した場合に警報に係る信号伝送にも影響が生じる可能性があることが確認されたことから、ディストリビュータから制御建屋への信号出力ラインにアイソレータ（用語集参照）を追加する。当該事象が発生した際に、分離建屋の安全上重要な機器のアナログ信号取り合い部については、ディストリビュータが故障したため、計器側の指示値高が発生した場合に発報する警報信号の取り合いも機能喪失した（インターロックが機能しない状況）。計測制御設備のうち安全保護系である高レベル廃液濃縮缶への加熱蒸気及び高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気発生器への一次蒸気の供給が停止するインターロックについても同様に機能喪失の状態であったことから、事象発生当時の状況等について、以下に示す。

【今回の落雷により確認された事象等】

今回の落雷事象が再処理の運転中に発生した場合、安全上重要な機器の機能が喪失したことから、計測制御系統施設及び安全保護回路の機能喪失の状態であったと考えられる。

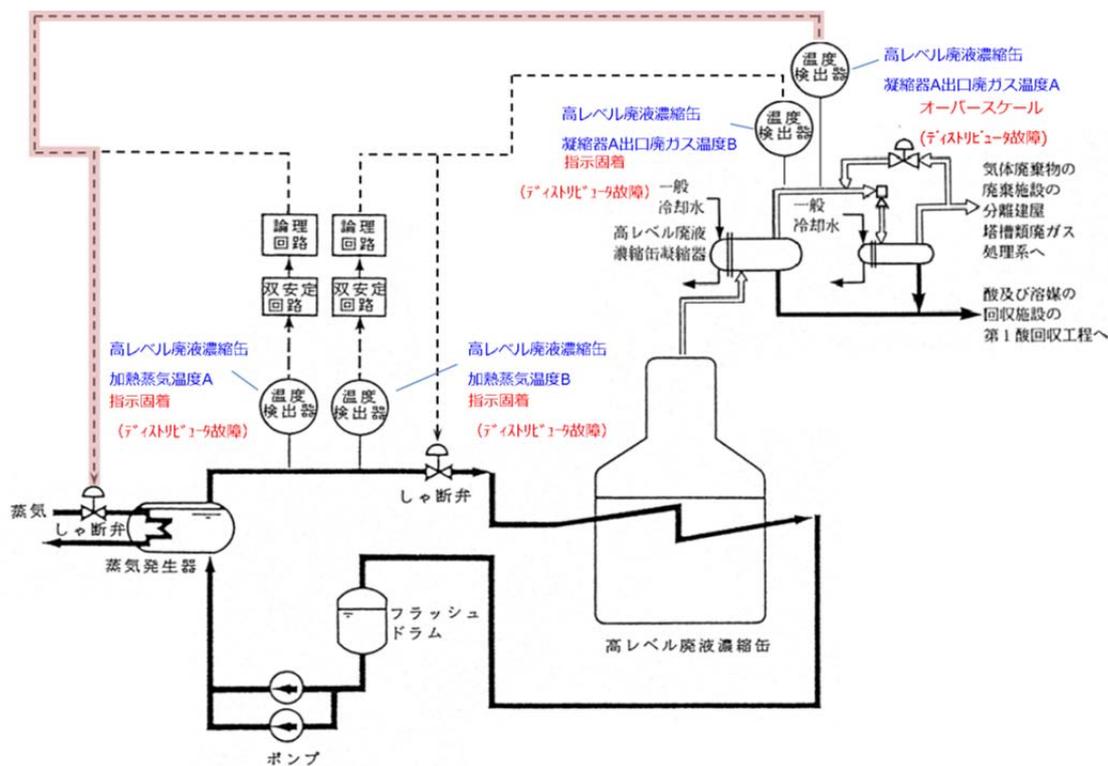
具体的には、分離建屋の高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 A/B（加熱蒸気温度高により高レベル廃液濃縮缶への加熱蒸気及び高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気発生器への一次蒸気の供給が停止するインターロック）は、ディストリビュータが故障したため、当該ディストリビュータの出力信号を基に動作する警報・インターロックも機能喪失した。（警報・インターロック（異常状態の検知と当該設備の速やかな動作）が機能しない状況）

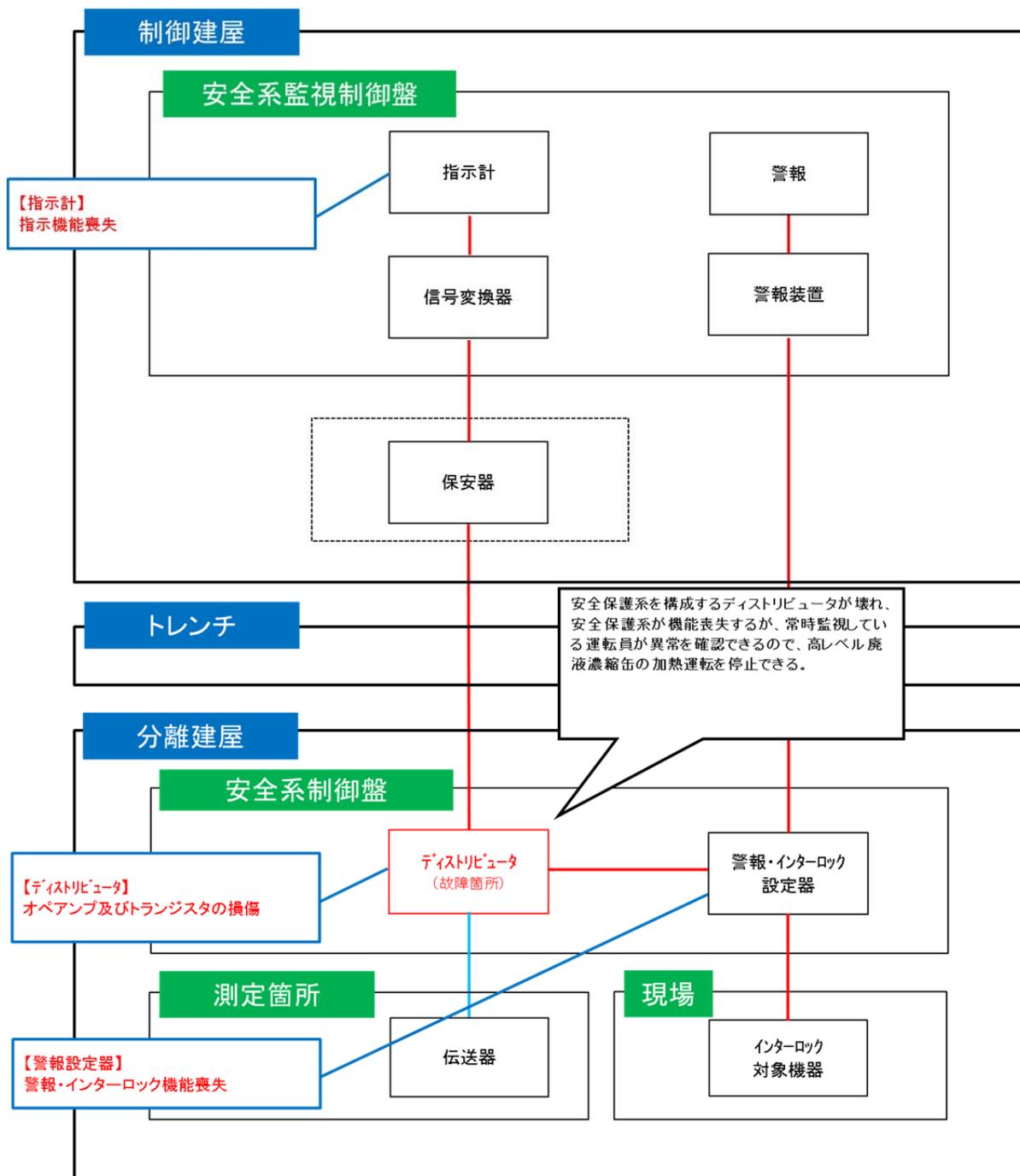
高レベル廃液濃縮缶の運転中に今回の落雷事象が発生した場合、ディストリビュータの故障に伴い安全系監視制御盤の高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 A の指示計がオーバースケールとなり、結果として高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気発生器への一次蒸気の供給を停止するインターロックが作動し、高レベル廃液濃縮缶の加熱を停止したと考えら

れる（下図参照）。一方、指示計がダウンスケールしてこれらのインターロックが機能しなかった場合には、速やかに高レベル廃液濃縮缶の加熱を停止し機能が要求されない状態に移行させる必要があるが、保安規定にあらかじめ定める措置に従い、運転員が故障した機器とは独立している操作器から速やかに加熱を停止したと考えられる。

特に、施設運転中にあつては、運転員が常時運転状態を監視しており、今回の事象のように他建屋の警報の発報を運転員が確認できること、安全上重要な機器以外の計測制御設備では伝送に光ケーブルを用いており、落雷の影響を受ける可能性が低く、必要な機能が確保されているため高レベル廃液濃縮缶の蒸気発生器圧力の異常の有無、他の温度指示値との不整合などを運転員が確認できること、及び運転員が至近の安全系監視制御盤から手動操作にてしゃ断弁の閉操作を行うことにより、速やかに高レベル廃液濃縮缶の加熱停止操作ができることから、施設の安全は確保可能であるものとする。

事業指定申請書に記載した安全保護系の機能を必ず確保した上で施設の運転を行うことが基本であるが、保安規定においては、安全保護系の機能が確保できない場合は施設の運転を停止する等の措置を具体的に定めていることから、今回の落雷事象では、安全上重要な機器の機能は喪失したものの、保安規定にあらかじめ定めた措置に従った対応により施設の安全は確保されたものとする。（現状の設備構成を示した次図参照）
（添付資料－16 参照）



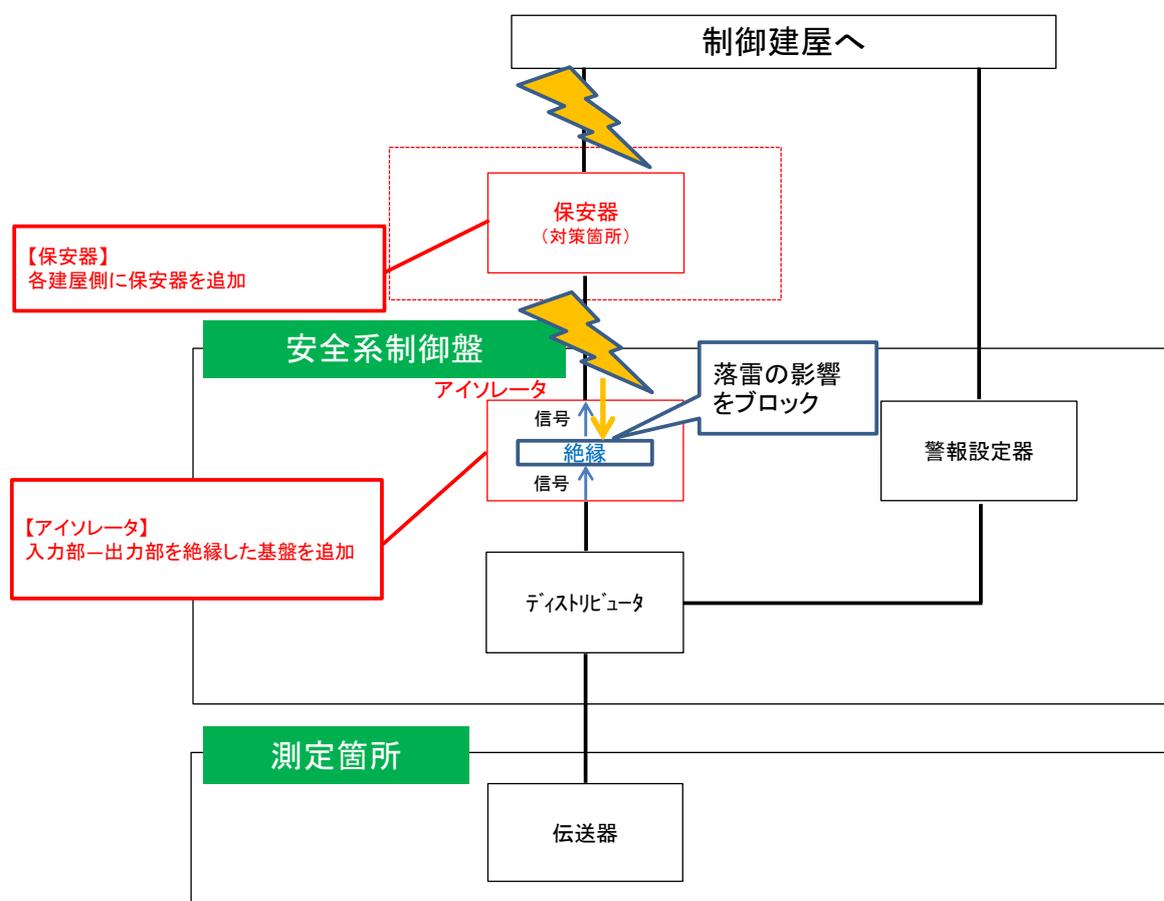


【高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度計 A/B の概要】

今回の事象を受けた対策として、アイソレータを追加することにより、万一の場合にも警報発報により運転員に異常を知らせる機能構成に改善が可能（万一指示値に異常が発生したとしても警報指示は正常に機能）である。具体的には、アイソレータとは入力信号と出力信号の間を直流

的に絶縁する機能を有するものであり、アイソレータの設置により落雷の影響が出力側に発生したとしても入力側への影響を阻止することで、安全上重要な機能である警報又はインターロック機能への影響を防ぐことができる。

既設安全系制御盤内の予備スペースが十分であることから、アイソレータは盤内に追加設置することとし、材料手配後工事に着手し、2016年6月目途に工事を完了する。アイソレータの設置に際し、工事等に必要な許認可手続きを実施する。



②前処理建屋のディストリビュータについては、今回の調査において、出力部分と入力部分の間に絶縁機能が無いことが確認されており（今回は出力部分の一部が短絡したことにより入力側への影響が生じなかった）、上述のとおり保安器を設置することにより雷サージを想定しても機能維持を図ることは可能であるが、万一雷サージによって今回と同様な故障が発生した場合に入力側への影響を防ぐことを目的として、アイソレータ機能を有するタイプの信号変換器に変更する。

- ③ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において今回故障した機器は、海外製で、故障した部位単独の交換が実施できなかったためにユニット全体の交換を行ったことから、今後の補修の効率化を考慮し、電流出力部へ国内製のアイソレータを追加設置する。

上記以外の警報回路等の接点信号を建屋間で伝送している計装回路についてはシールドケーブルのシールド部を両端接地していること及び、電流出力計器と比べ接点出力部の絶縁耐力が高いこと、また、今回故障が発生していないことから、追加的な対策は実施する必要がないと考える。

また、安全上重要な機器以外の機器についても同様に、アナログ信号を建屋間ケーブルで取り合っている箇所については、ケーブルの発着点の建屋へ保安器を追加設置する。さらに、同時期に故障した機器については、以下の対策を実施する。

- ①分離建屋の「水素掃気用安全圧縮空気圧力 A、B」、「フラッシュドラム A 水位、B 水位」の 4 台については、安全系制御盤内に構成されていることから、安全上重要な機器と同様な対策（保安器の追加設置とディストリビュータ電流出力部へのアイソレータの追加設置）を行う。
- ②淡水取水設備の「貯水池（東）水位計」は、屋外に設置される設備であることから、保安器が設置されていたものの、保安器の雷インパルス絶縁耐力が 1 kV であり、これを超える誘導電圧が当該水位計の信号ケーブルを介して当該計器に印加し、計器内部の素子が損傷したものと推定される。そのため、既設の保安器の仕様を確認して雷サージ耐力を増す仕様への変更を行う。
- ③北換気筒の屋外ヒータ B 温度計のように、屋外のセンサ信号を建屋内へ取り込んでいる箇所については計測信号ラインへ保安器を追加設置する。
- ④火災報知盤・防災盤に係る中継器については、建屋間を 5 V クラスの通信線を取り合っていることから、保安器を追加設置する。
- ⑤海洋放出管の漏えい検知装置については、各建屋の電源引き込みラインへ避雷器、伝送ユニット間通信路へ保安器を設置していたことから、これらの部位に故障は生じなかったものの、点検室 No. 2 から使用済燃料受入れ・貯蔵建屋への放出管圧力信号（4～20 mA アナログ信号取り合い）部のアイソレータ（信号絶縁器）が故障したことと、海洋放出管の漏水検知器及び抵抗ユニットの故障が発生した。このため、放出管圧力信号等の 4～20 mA アナログ信号取り合い部には保安器を追加設置する。また、漏水検知器や抵抗ユニットについては、点検室ごとに漏えいが検出されたピットを特定する機能を有していることから、複数の保安器を追加すると線路抵抗が増すことになり、この漏えい検出点を特定する機能が働かない可能性がある。このため、最低限、漏水検知器を護るための保安器を追加設置する。抵抗

ユニットについては故障した際に速やかに復旧対応する。
なお、上記に該当する他の建屋の計器についても同様の対策を講じる。

また、上記の設備対応が完了するまでの間に落雷事象が発生し、安全上重要な機器の故障が発生する可能性に対し、万一落雷の影響により故障が発生した場合には速やかにディストリビュータ等の現場建屋側計器の片系の復旧による安全確保ができるよう、安全上重要な機器における建屋間アナログ信号取合いに係るディストリビュータ等の現場建屋側計器及び既設の保安器について、片系分の予備品を保有する。

なお、これらの予備品は現在手配中であり、順次配備される予定（2016年4月～7月）である。

◆対象施設：前処理建屋、分離建屋、精製建屋、制御建屋、ウラン脱硝建屋、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

◆配備対象機器

- ・ディストリビュータ、信号変換器、アイソレータ（建屋間アナログ信号取合いに係る現場建屋側計器）
- ・保安器

◆予備品配備予定数

対象	設備数	配備数
建屋間アナログ信号取合いに係る現場建屋側計器	192 台	94 台 ※1
保安器	265 台	133 台

※1：既保有分（14台）を含む

8. 2 運転管理における対応

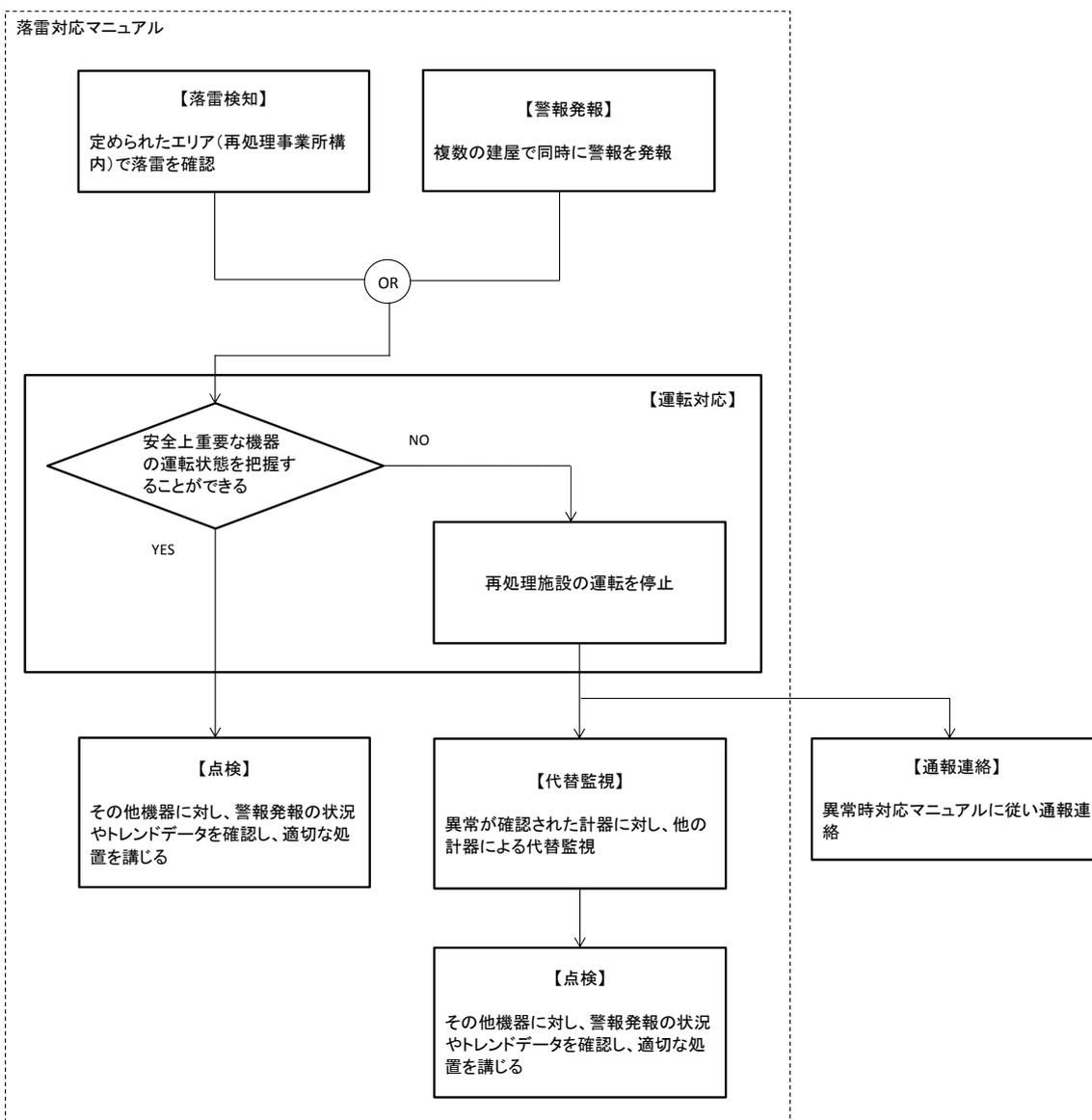
今回の事象発生時、複数の建屋において同時に警報の発報が確認されたことから、落雷が確認されていない状態ではあったが、落雷による可能性があるかと判断し、落雷時の対応手順に従い警報や指示値の異常等の確認をし、その結果として安全上重要な機器の同時故障を確認している。

なお、今回の事象においては、速やかに落雷と特定することができなかったことから、Lightning Scope+（JLDNの落雷情報を収集するシステム）を導入し、落雷発生時のソフト対応が迅速に行える環境を整備する。

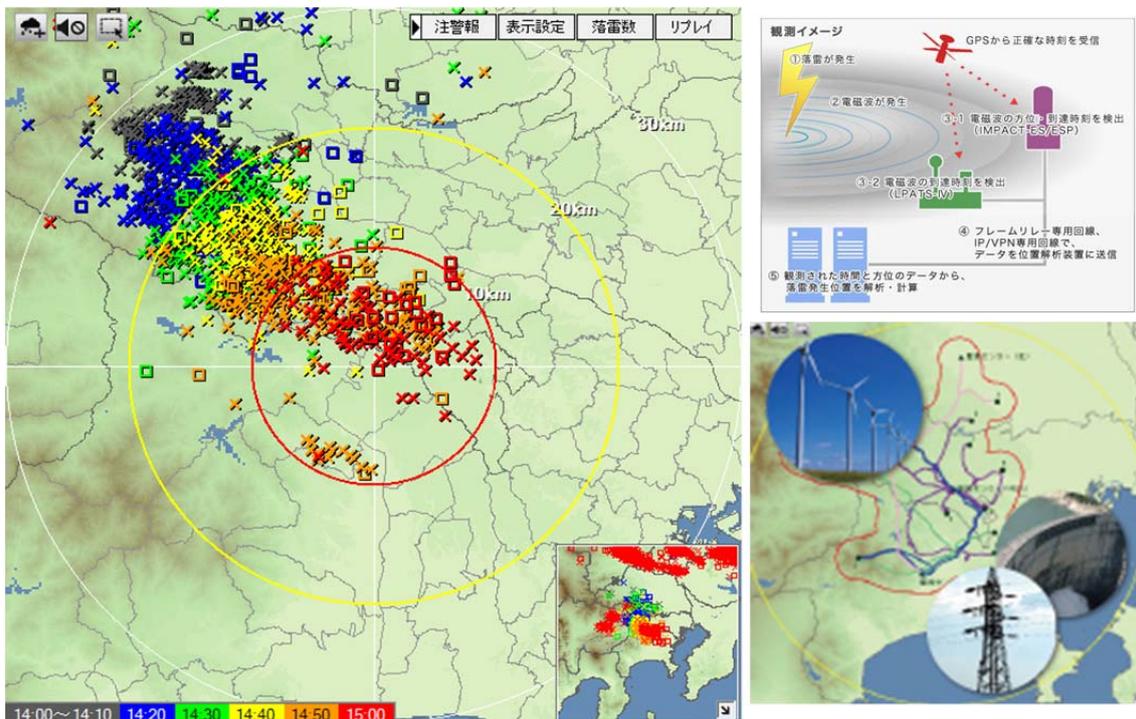
「8. 1 設備対応」に示した設備対応を今後行う計画であるが、設備対応を行うまでの間及び設備対応を行った後に万一その設備対応を超える事象が発生した場合を考慮し、以下のとおり手順等の整備を行う。

8. 2. 1 設備対応完了までの対応

- 再処理施設への落雷が発生した場合、安全上重要な機器からの指示が通常と異なる状態になること、分離建屋については上述のように適切に警報の表示が出来ない状態となることが想定される。
- 複数の建屋において同時に警報の発報が確認された場合には、中央制御室で安全系監視制御盤の指示値及び監視制御盤（光ケーブルで取り合っているため落雷の影響を受ける可能性は低い）の指示値の異常の有無を確認する。その結果安全上重要な機器の運転状態を把握することが出来ないと判断した場合には、再処理施設の運転を停止する措置を講ずる手順とする。
- 上記対応について、必要事項を事業変更許可申請等に記載する。



【落雷により計器が故障した場合の対応（設備対応完了までの間における対応）】



【出典:株式会社フランクリン・ジャパン ホームページ】

【Lightning Scope+による落雷確認】

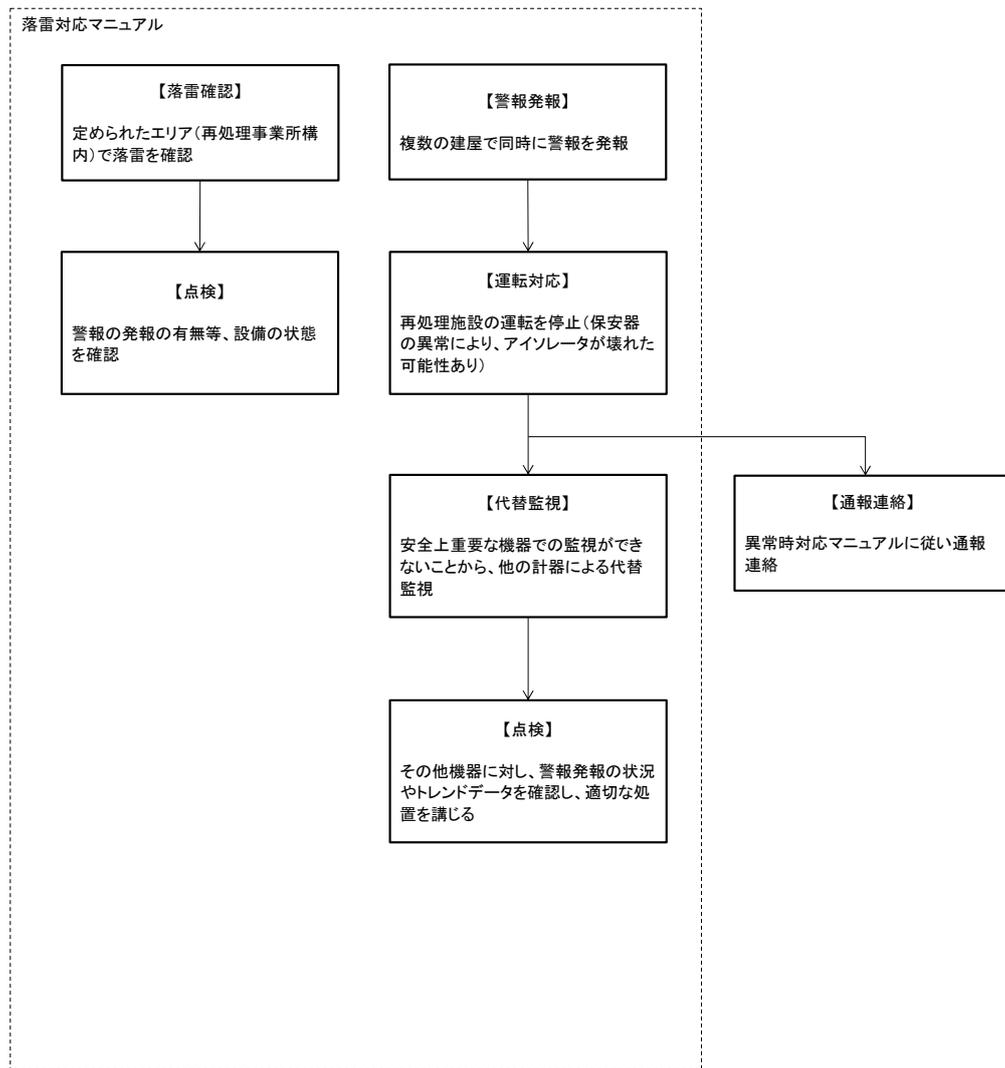
8. 2. 2 設備対応完了以降の対応

今回のような落雷が発生し、アナログ信号取り合い部に雷サージが侵入したとしても、保安器により安全上重要な機器への影響を防止することが可能であるが、設備対応後においても万一の事態に備え、以下の対応を実施することにより、より高い安全性を確保する。

- 万一再処理施設への落雷が発生した場合、保安器を設置することにより、安全上重要な機器への影響を防止することが可能と考えるが、保安器の耐量を超える落雷が発生した場合には、保安器部分で地絡状態となり、安全上重要な機器からの指示値が通常と異なる状態になることが想定される。
- 指示値の表示が正常にできない状態になったとしても上述のアイソレータの設置を行うことで警報指示については正常に行える状態を確保することが可能であることから、設備の運転状態が異常な状態（温度が上昇し温度高のインターロックが作動する状態になる等）に至っているかを検知することは可能である。
- 設備対応を行うことで運転状態が異常な状態に至ることは防止できるものの、複数の建屋において同時に警報の発報が確認された場合には、中央制御室で安全系監視制御盤の指示値（安全上重要な機器に位置づけ

られる指示) 及び監視制御盤 (安全上重要な機器以外の機器に位置づけられる指示: 光ケーブルで取り合っているため落雷の影響を受ける可能性は低い) の指示値の異常の有無を確認し、落雷により保安器の異常が発生している可能性が考えられる場合には、再処理の運転を停止する措置を講ずる手順とする。

- 万一落雷の影響により保安器の故障が確認された場合には、速やかに予備品と交換し設備の健全性を確保する。また、その対応を手順に定める。
- 上記対応について、必要事項を事業変更許可申請等に記載する。



【落雷により計器が故障した場合の対応 (設備対応完了以降)】

さらに、今回の落雷事象において、安全上重要な機器の故障が確認された際に、漏えいが発生していないこと、負圧が維持されていることを他の機器の指示値によって確認している。今後同様の事象が発生した際に、速やかに必要な安全機能が確保されていることを確認するために、再処理施設に落雷

が発生した際に故障することが想定される安全上重要な機器に対し、安全機能が確保されていることを確認するための代替監視手段を整理し、手順に定める。

8. 2. 3 代替監視手段の整備

(1) 基本的考え方

安全上重要な機器を運転停止等の措置により適用される状態外に移行できる機器とそれ以外のものに分類し、中央制御室における代替監視、現場における機能確認を実施し、計器に要求される機能を代替することを基本とする。

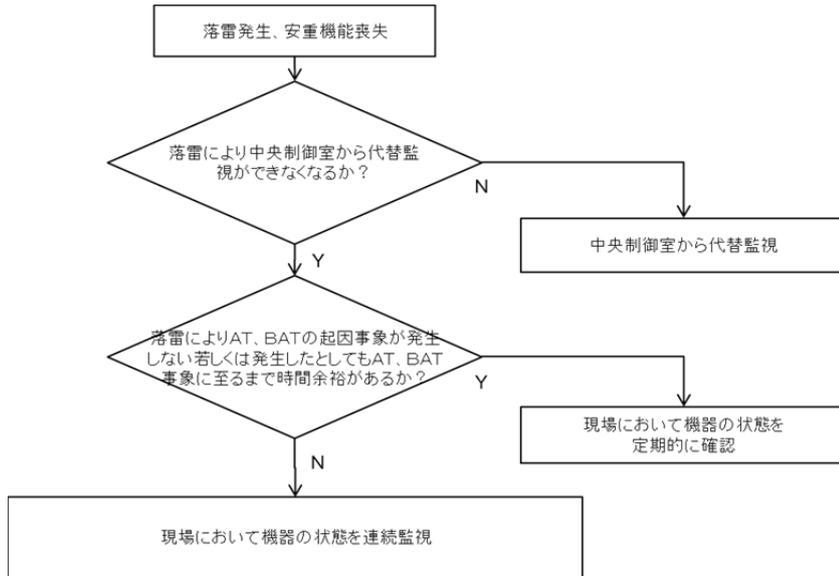
安全上重要な機器を運転停止等の措置により適用される状態外に移行できない主要な機器に対する代替監視方法を下表に示す。

対象	代替手段を設定する理由	代替方法
安全冷却水系ポンプ	安全冷却水により崩壊熱除去機能の確保	安全監視制御盤における故障警報、監視制御盤における流量表示、現場におけるポンプ運転状態及び流量確認
安全空気圧縮機	安全圧縮空気による水素掃気機能の確保	安全監視制御盤における故障警報、監視制御盤における圧縮空気貯槽圧力表示、現場における空気圧縮機運転状態及び圧力確認
各建屋 [*] の塔槽類廃ガス処理設備の洗浄塔入口圧力高警報	負圧維持による閉じ込め機能の確保	排風機の回転数低、排風機の入口側圧力高又は排風機の入口・出口間差圧低の警報と測定値、現場における排風機の運転状態及び回転数確認
各建屋 [*] の安全上重要な施設の漏えい検知装置	運転停止時等の措置により、機能が要求される事態に至るリスクは低減するが、完全には排除できないことを考慮	漏えい液受け皿を設けた機器の液位の測定値（運転員による定期的な監視）

※ 前処理建屋、分離建屋、精製建屋（プルトニウム系）、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

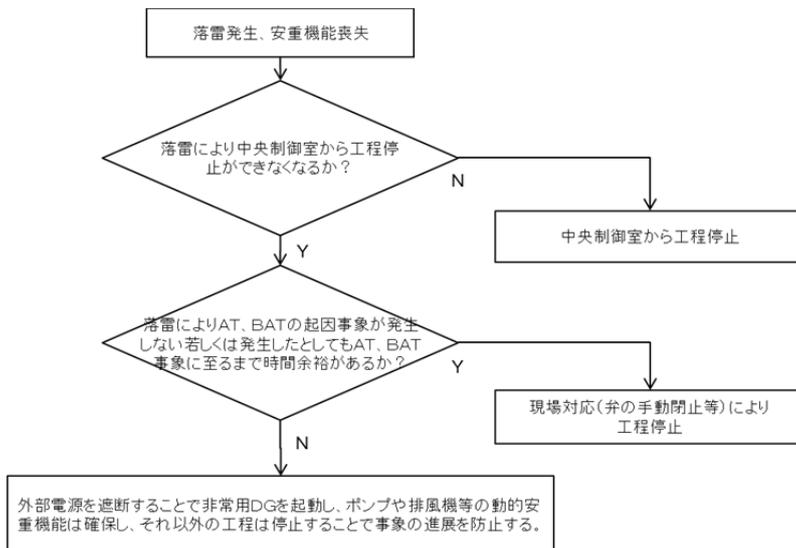
(2) 適用される状態外に移行できない安重の計測制御設備に対する対応

- ・ 速やかに必要な安重機能が確保されていることを確認するため、代替監視手段を講じる。
- ・ 保安器の異常によりアイソレータが壊れるなど、想定を超える落雷が発生した場合を想定し、以下のフローに基づく代替の監視手段を予め準備する（手順に定める）。



(3) 適用される状態外に移行できる安重の計測制御設備に対する対応

- ・ 運転停止等の措置により、安全上重要な機器を適用される状態外に移行する。
- ・ 保安器の異常によりアイソレータが壊れるなど、想定を超える落雷が発生した場合を想定し、以下のフローに基づく代替の停止手段を予め準備する（手順に定める）。



(4) 落雷発生時に係る対応の具体的な手順

1) 落雷の検知及び判断

2) 初動対応

① 落雷発生のお知らせ

② 設備点検の実施（機能の維持確認）

- ▶ 発生防止に係る安全上重要な施設である安全冷却水系、水素掃気用圧縮空気系、塔槽類廃ガス処理設備等の動的機器であるポンプ、空気圧縮機、排風機（以下、「動的安重機器」とする）に異常がないことを確認する。
- ▶ 動的安重機器に異常がないことの確認は、中央制御室の安全監視制御盤及び監視制御盤により速やかに行うとともに、現場での巡視点検により確認を行う。
- ▶ 保安器の異常によりアイソレータが壊れるなど、想定を超える落雷が発生した場合を想定し、中央制御室からの監視ができなくなった場合は、定期的に現場での巡視点検を行うことにより直接、動的安重機器に異常がないことの確認を行う。

③ ②の結果、安全機能が喪失したと判断した場合は、あらかじめ手順に定める運転停止または代替監視の措置を開始する。

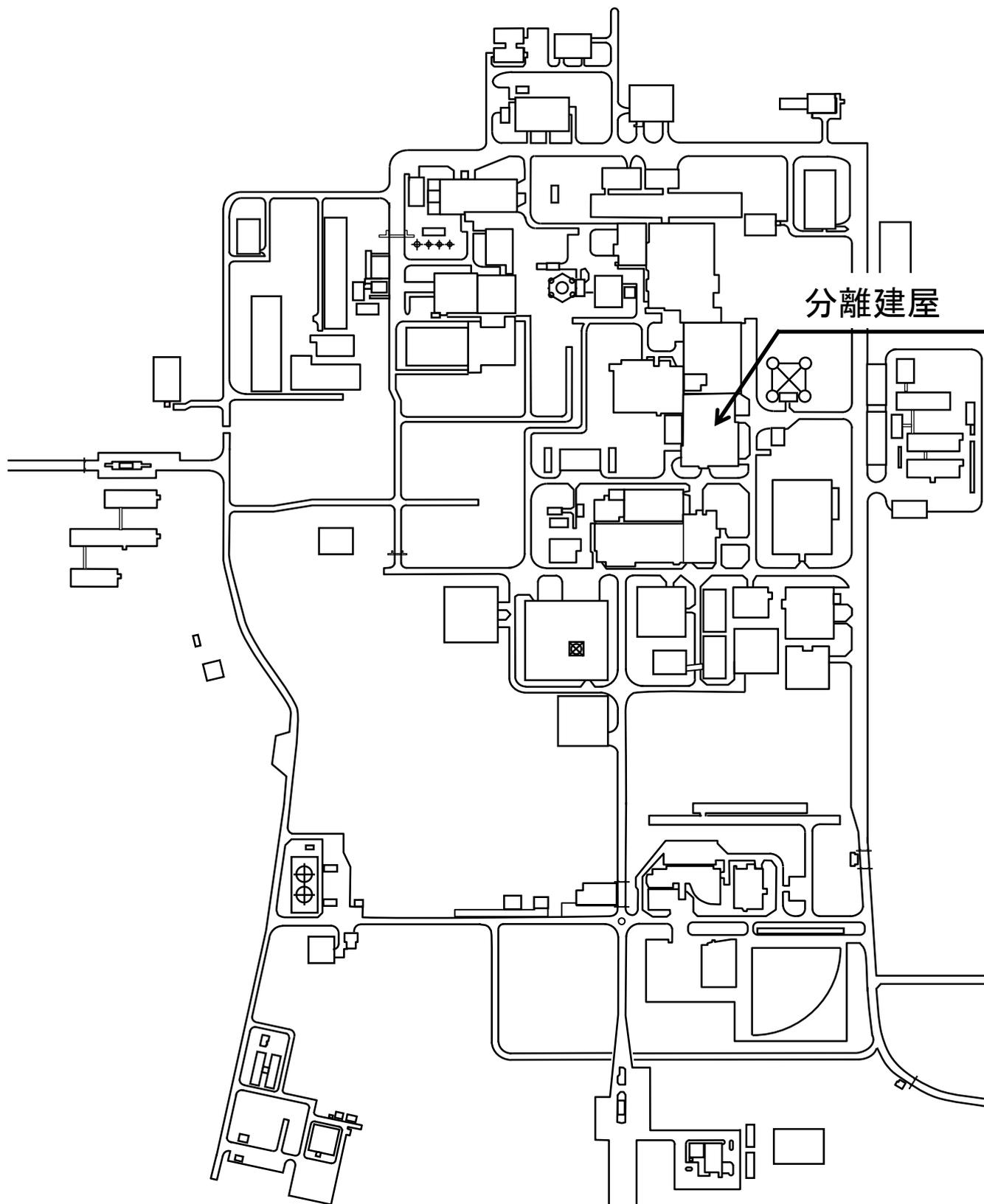
3) 設備点検結果の報告

9. 今後の対応

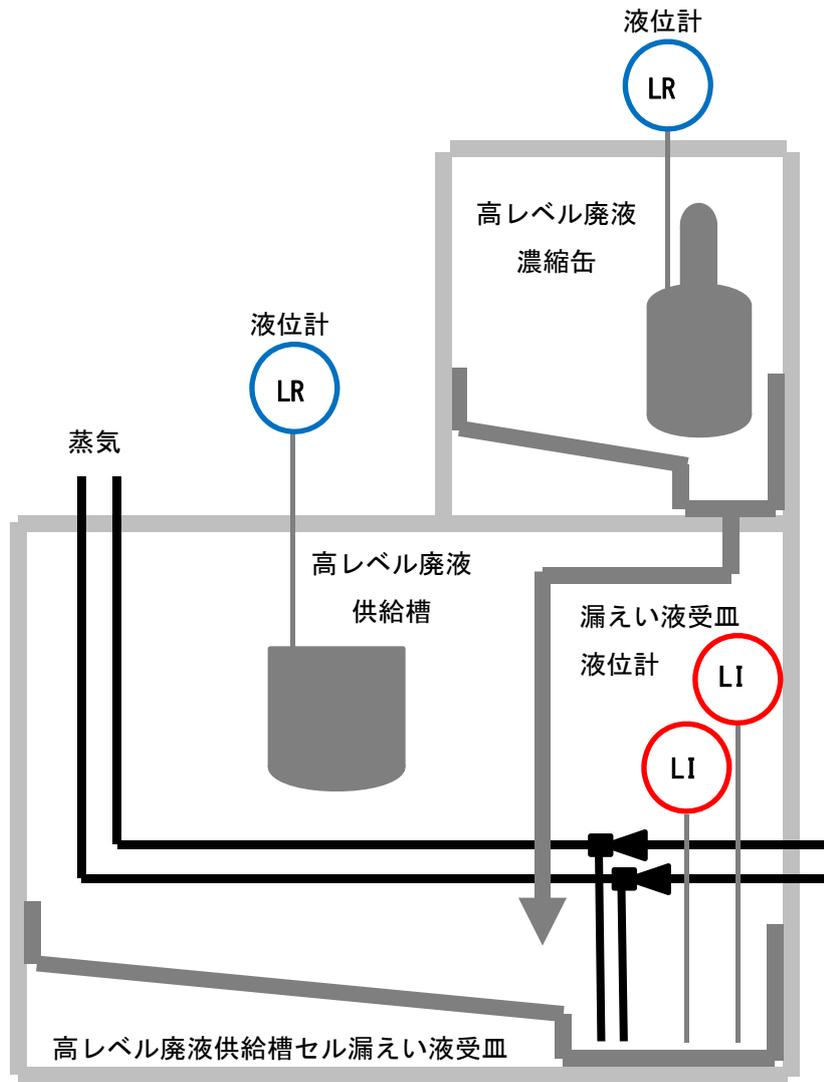
今回発生した落雷事象については、原因調査に基づき一定の情報は得られたものの、今後も継続して落雷の発生頻度に係る調査及び落雷の影響メカニズムの検証等を実施し、設計に反映する事項を評価し、さらなる安全性向上に努める。

また、今回の落雷事象の影響等への対応のうち、設計基準への反映に係る評価については、新規制基準を踏まえた安全審査において整理する。

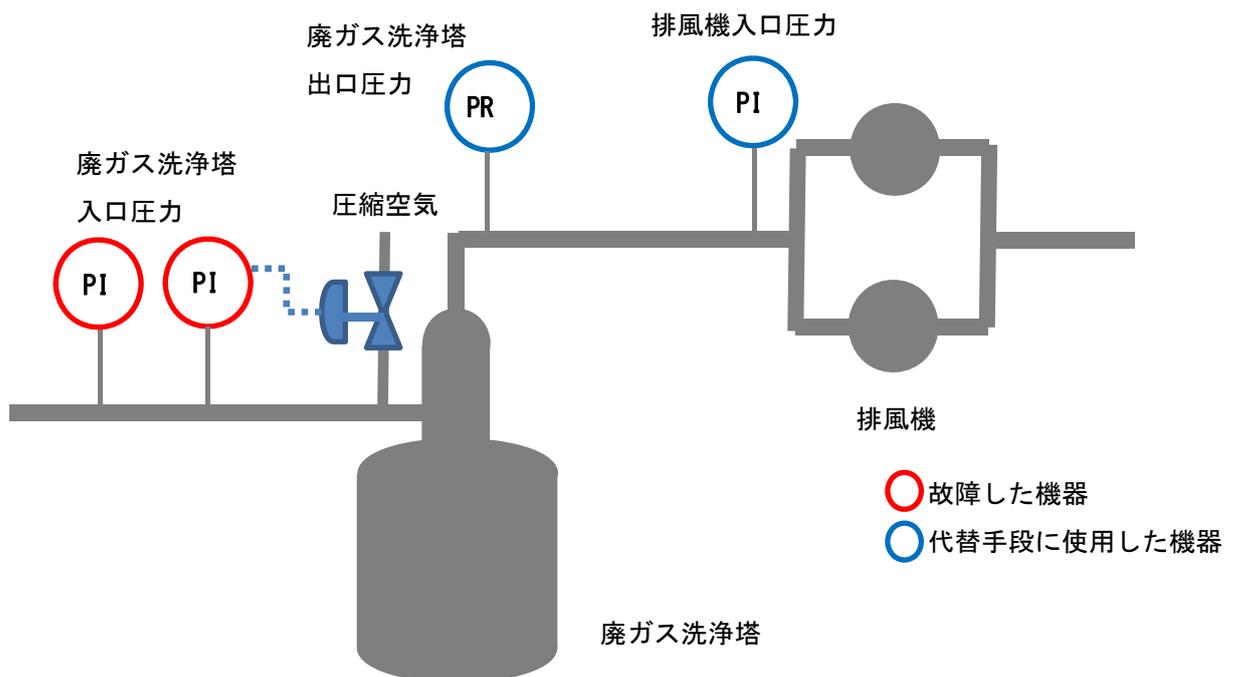
以上



再処理事業所 構内配置図



高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の概要図



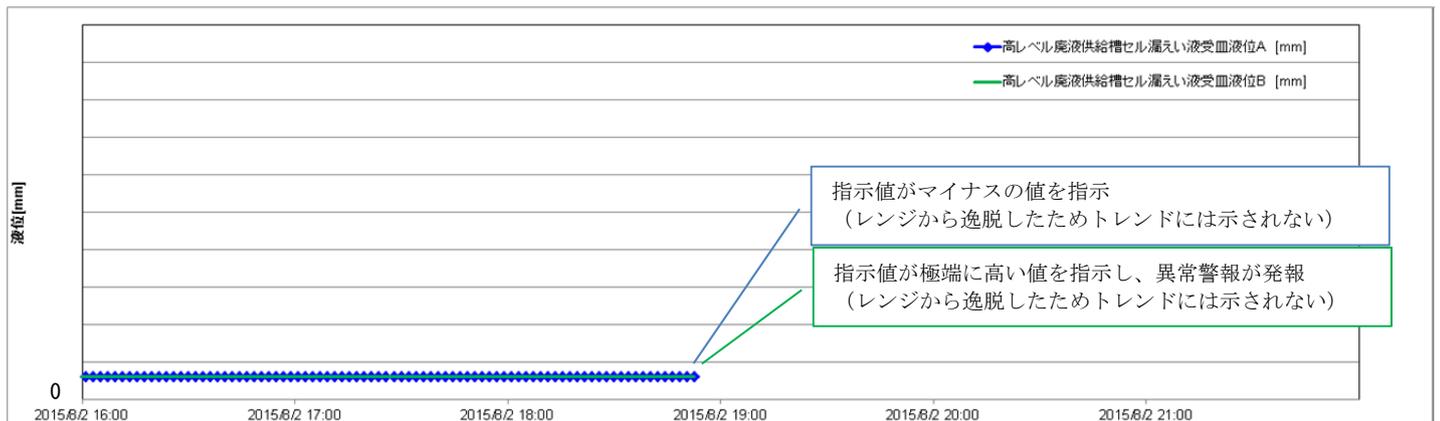
分離建屋塔槽類廃ガス処理設備の概要図

分離建屋の高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿
及び分離建屋塔槽類廃ガス処理設備概要

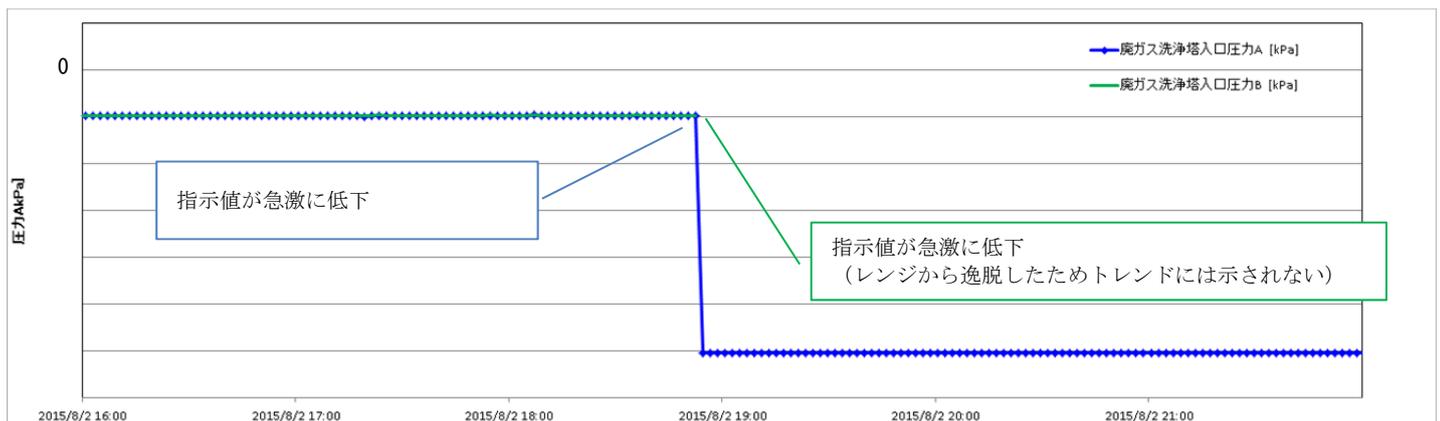
事象発生当時のトレンドデータ

事象発生当時の当該設備に係る指示値のトレンドは以下のとおり。いずれも、2015年8月2日18時53分頃に指示値に変動または異常が確認された。

① 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿液位



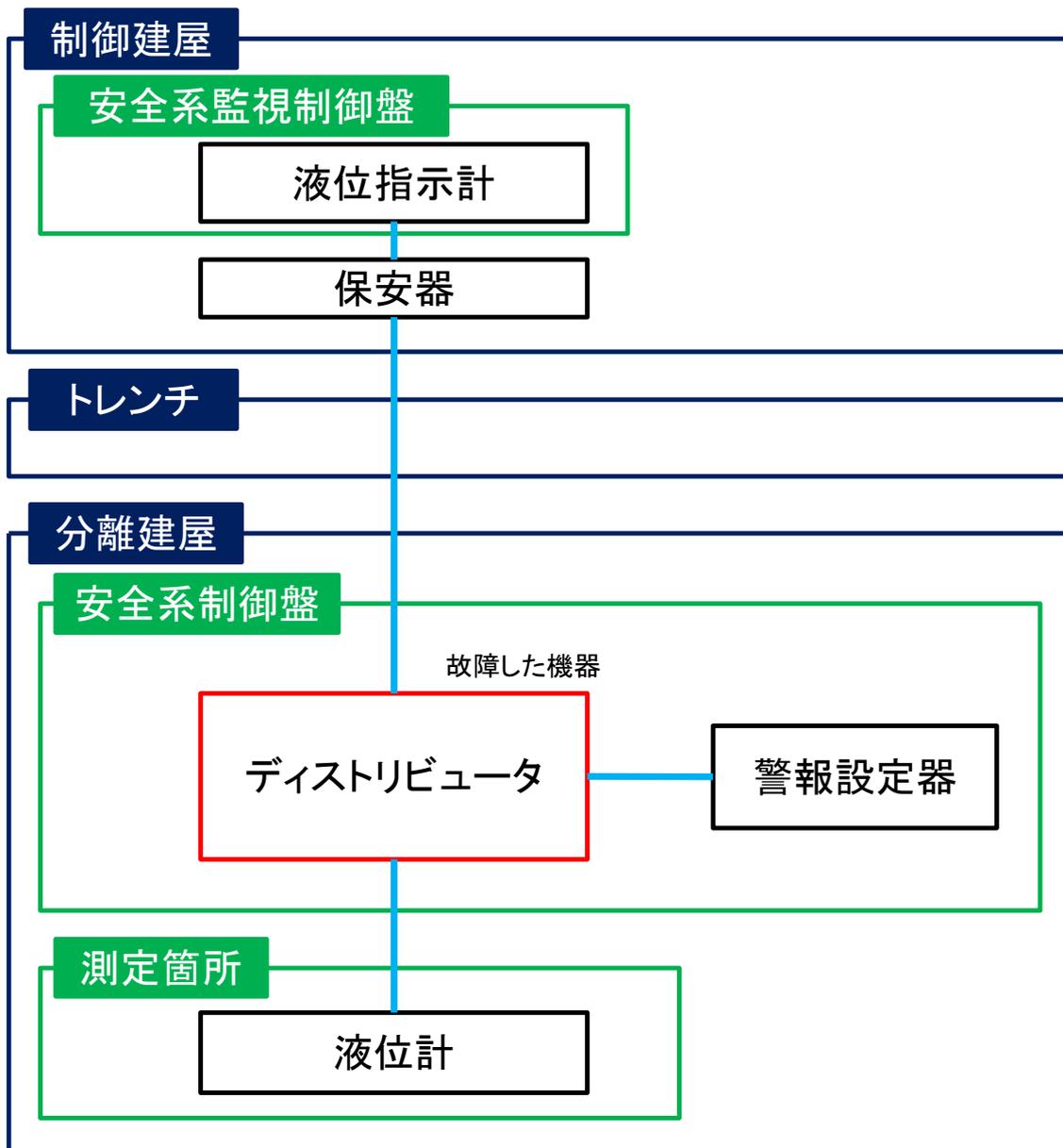
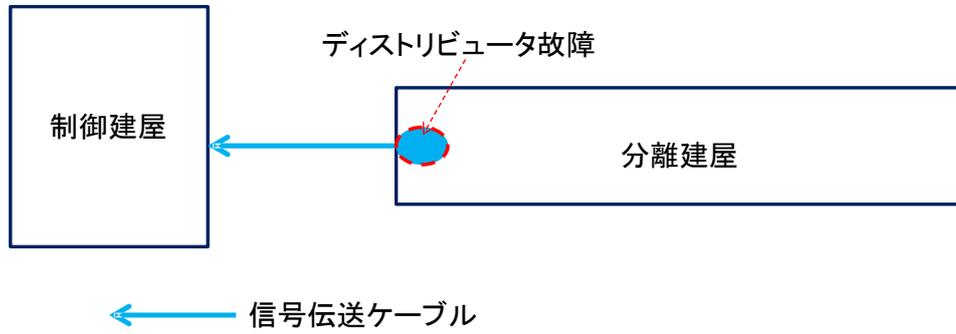
② 廃ガス洗浄塔入口圧力



時系列

2015年8月2日

- 18:50 頃～ 六ヶ所地域において多数の雷が発生
- 18:52 頃 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受血液位計のB系の異常を示す警報が発報し、A系の指示値が表示されない状態となった。
- 19:06 統括当直長が18:52頃に発生した事象(漏えい液受血液位計の故障)を確認
- 19:24 第1報発信(A情報 漏えい液受血液位計の故障)
- 20:03 第2報発信(A情報 漏えい液受血液位計の故障:安全上重要な機器の2台故障であり、閉じ込め機能の喪失に該当すると連絡責任者が判断した旨を記載)
- 20:30 頃 操作員が、分離建屋塔槽類廃ガス処理設備 廃ガス洗浄塔入口圧力計のA系及びB系の表示が正しくないことを確認(18:53頃から指示値が変動)
- 20:41 第3報発信(A情報 漏えい液受血液位計の故障)
連絡責任者から当該事象は事故故障等の報告(使用済燃料の再処理の事業に関する規則第19条の16第1項第三号 使用済燃料等を限定された区域に閉じ込める機能の喪失)に該当すると説明
⇒ その後、詳細な状況について第8報(00:29発信)まで連絡
- 20:56 統括当直長が20:30頃に操作員が確認した事象(廃ガス洗浄塔入口圧力計の指示値異常)を確認
- 21:38 第1報発信(A情報 廃ガス洗浄塔入口圧力計の指示値異常:使用済燃料の再処理の事業に関する規則第19条の16に規定する「事故故障等」に該当)
⇒ その後、詳細な情報について第5報(00:59発信)まで連絡
- 23:13 頃 分離建屋塔槽類廃ガス処理設備を保守モード*に移行し、負圧を維持していることを確認
※廃ガス洗浄塔入口に圧縮空気を供給し、廃ガス洗浄塔内を所定の圧力で調整している通常運転の状態から、圧縮空気の供給を停止し廃ガス洗浄塔内の負圧を強制的に維持する状態



当該伝送系統の故障状況

故障が確認された安全上重要な機器以外の機器の故障状況

建 屋	機器名称	故障状況及び故障時の代替措置等
前処理 建屋	計量後中間貯槽 液位	<p>(故障の状況)</p> <p>液位の指示値には変動がないが、液位の故障警報が発報したため、故障と判断 (図 6 - 1)</p> <p>(故障時の代替措置)</p> <p>巡視時に液位変動がないこと確認するために使用しているが、その指示値に信頼性がなかったことから、他の貯槽へ移送していなかったこと、貯槽下部に設置の漏えい液受皿に漏えいがなかったことから、貯槽内の量に変動がないと判断した。</p>
分離建屋	水素掃気用安全 圧縮空気圧力 A	<p>(故障の状況)</p> <p>OIS の指示値 (圧力) が通常状態と異なるため、故障と判断 (図 6 - 2)</p>
	水素掃気用安全 圧縮空気圧力 B	<p>(故障時の代替措置)</p> <p>代替措置として、同一系統に設置している別の圧力計で監視をした。</p>
	フラッシュドラム A 水位	<p>(故障の状況)</p> <p>OIS の指示値 (水位) が通常状態と異なるため、故障と判断 (図 6 - 2)</p>
	フラッシュドラム B 水位	<p>(故障時の代替措置)</p> <p>フラッシュドラム内の水がなくなった場合には、冷却水の循環ができなくなるため、代替措置として冷却水循環流量で監視をした。</p>
海洋 放出管	海洋放出管 A1 系センサ	<p>(故障の状況)</p> <p>警報を確認し、現場盤にてリセット操作を実施したが復旧しないため、故障と判断 (図 6 - 3)</p> <p>A1 : 片系故障、A2:両系故障、A4:片系故障</p> <p>(故障時の代替措置等)</p> <p>センサ 2 系列のうち 1 系列を復旧した後、海洋放出を実施した。</p>
	海洋放出管 A2 系センサ	
	海洋放出管 A4 系センサ	
	海洋放出管圧力	<p>(故障の状況)</p> <p>外観目視でセンサの異常を確認したため、故障と判断 (図 6 - 4)</p>
北換気筒	屋外ヒータ B 温度 計	<p>(故障の状況)</p> <p>表示が消失し、「屋外ヒータ B 故障」の警報が点滅していたため、故障と判断 (換気筒サンプリング設備は正常に動作) (図 6 - 5)</p>
淡水取水 設備	貯水池 (東) 水位計	<p>(故障の状況)</p> <p>指示値が振り切れた状態のため、故障と判断 (図 6 - 6)</p> <p>(故障時の代替措置)</p> <p>代替措置として、他の水位計で当該貯水池の水位を測定した。</p>

建 屋	機器名称	故障状況及び故障時の代替措置等
制御建屋	火災報知盤・防災盤に係る中継器	(故障の状況) 火災報知盤・防災盤に「中継器無反応」が発報されたため、
主排気筒管 理建屋	火災報知盤・防災盤に係る中継器	故障と判断 (図6-7) (故障時の代替手段等)
試薬建屋	火災報知盤・防災盤に係る中継器	巡視等を強化し、火災等がないことを確認した。

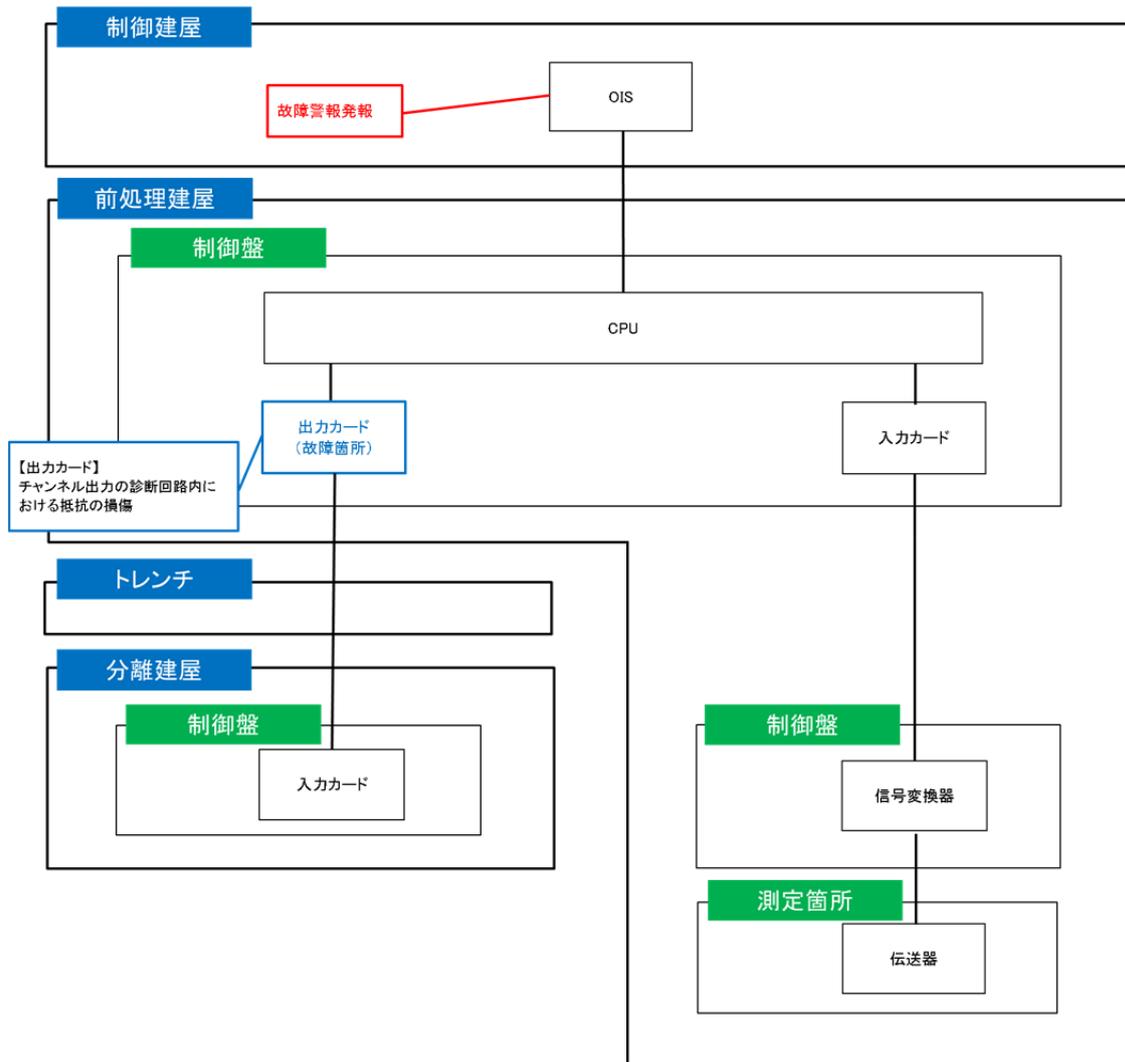


図 6 - 1 計量後中間貯槽液位の故障状況

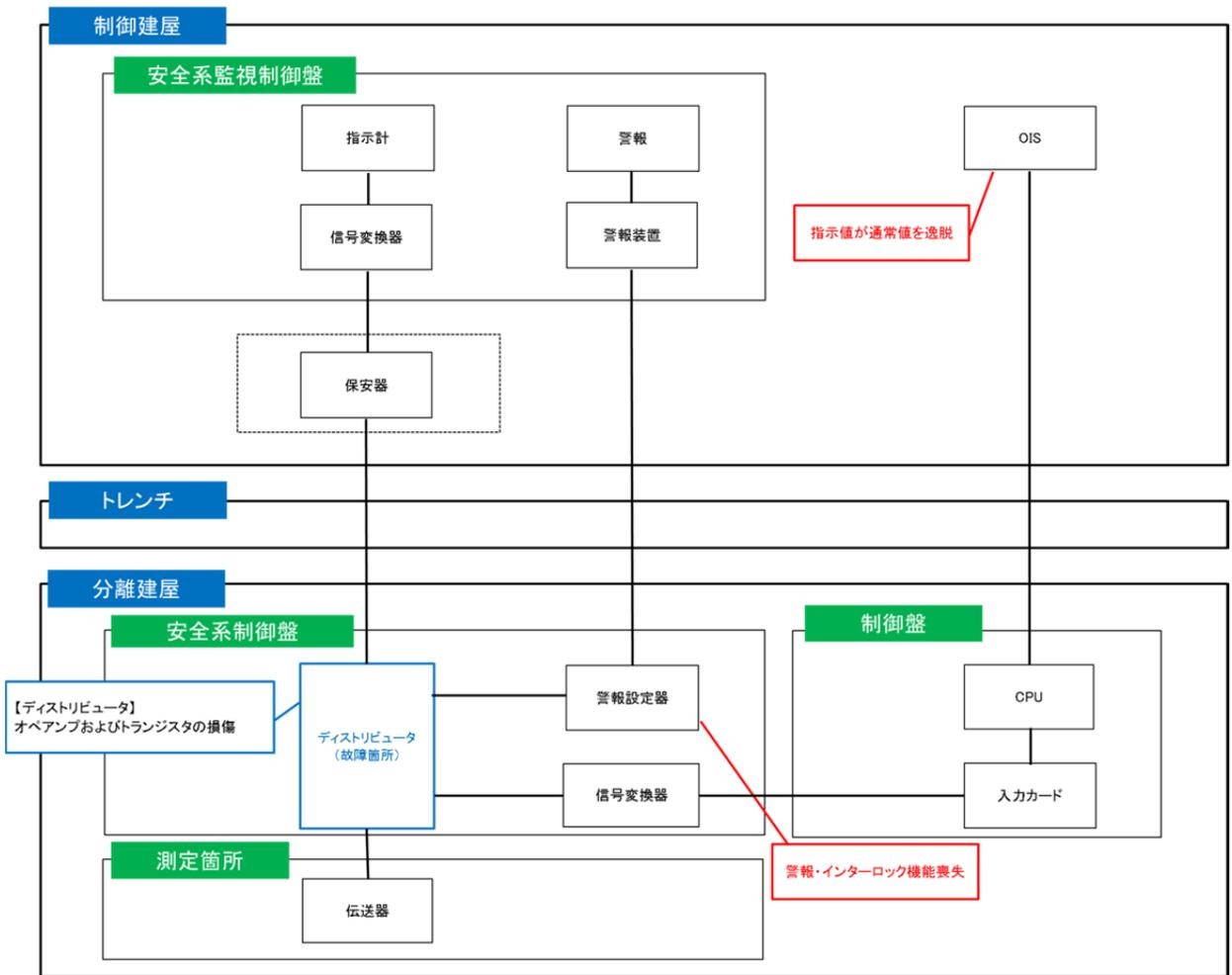


図 6 - 2 分離建屋で故障が確認された
安全上重要な機器以外の機器の故障状況

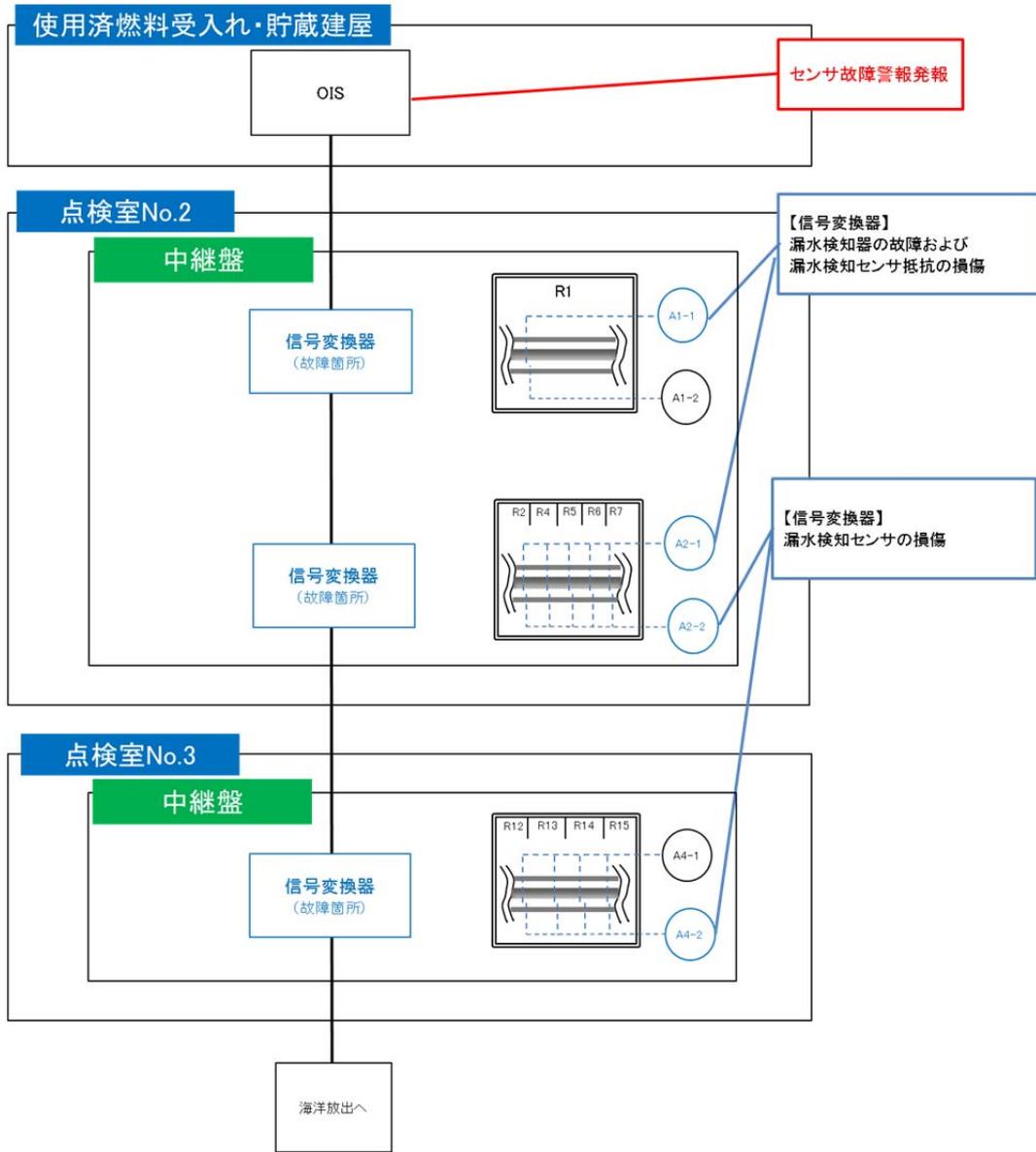


図 6 - 3 海洋放出管 センサの故障状況

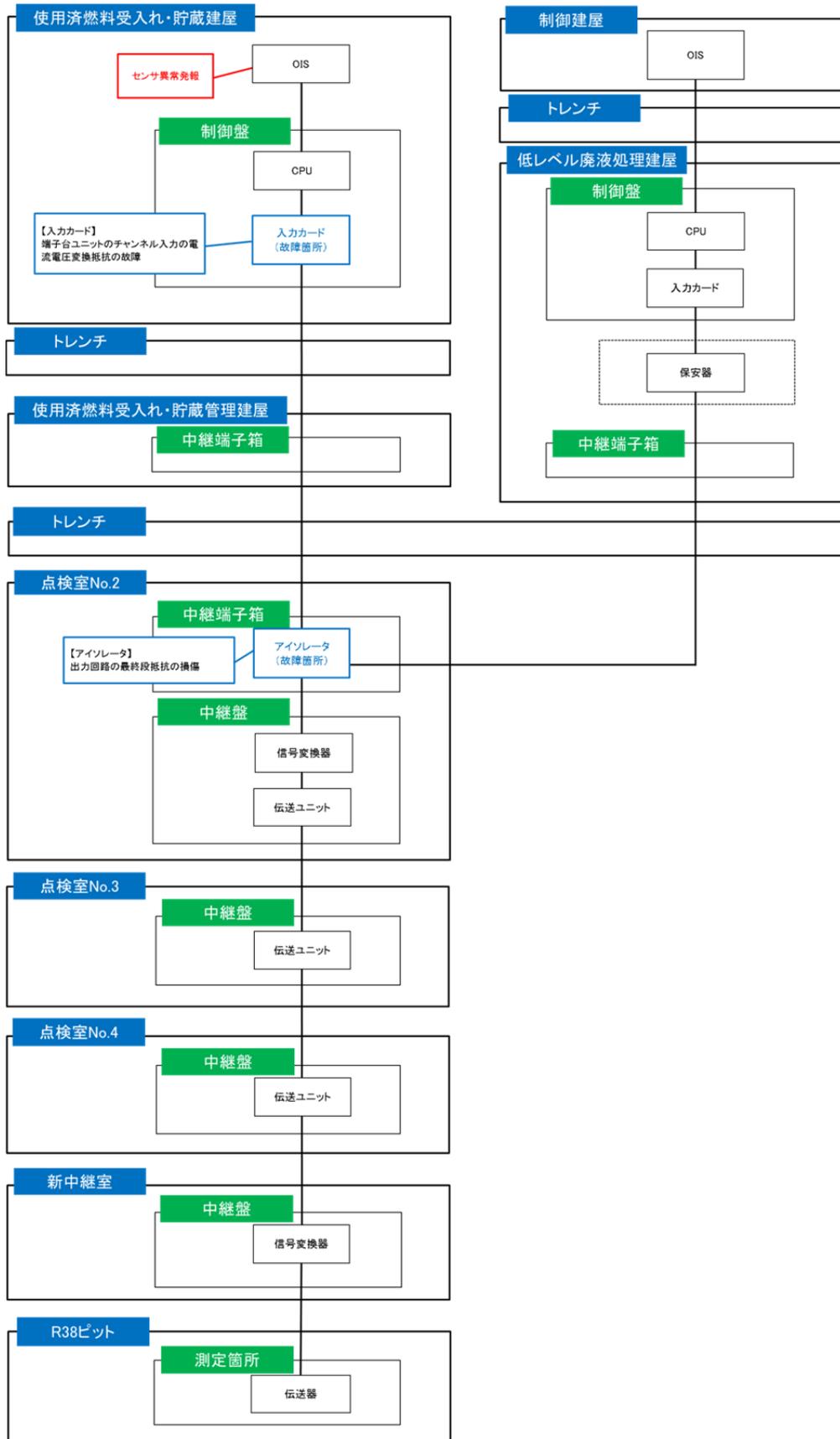


図 6 - 4 海洋放出管圧力の故障状況

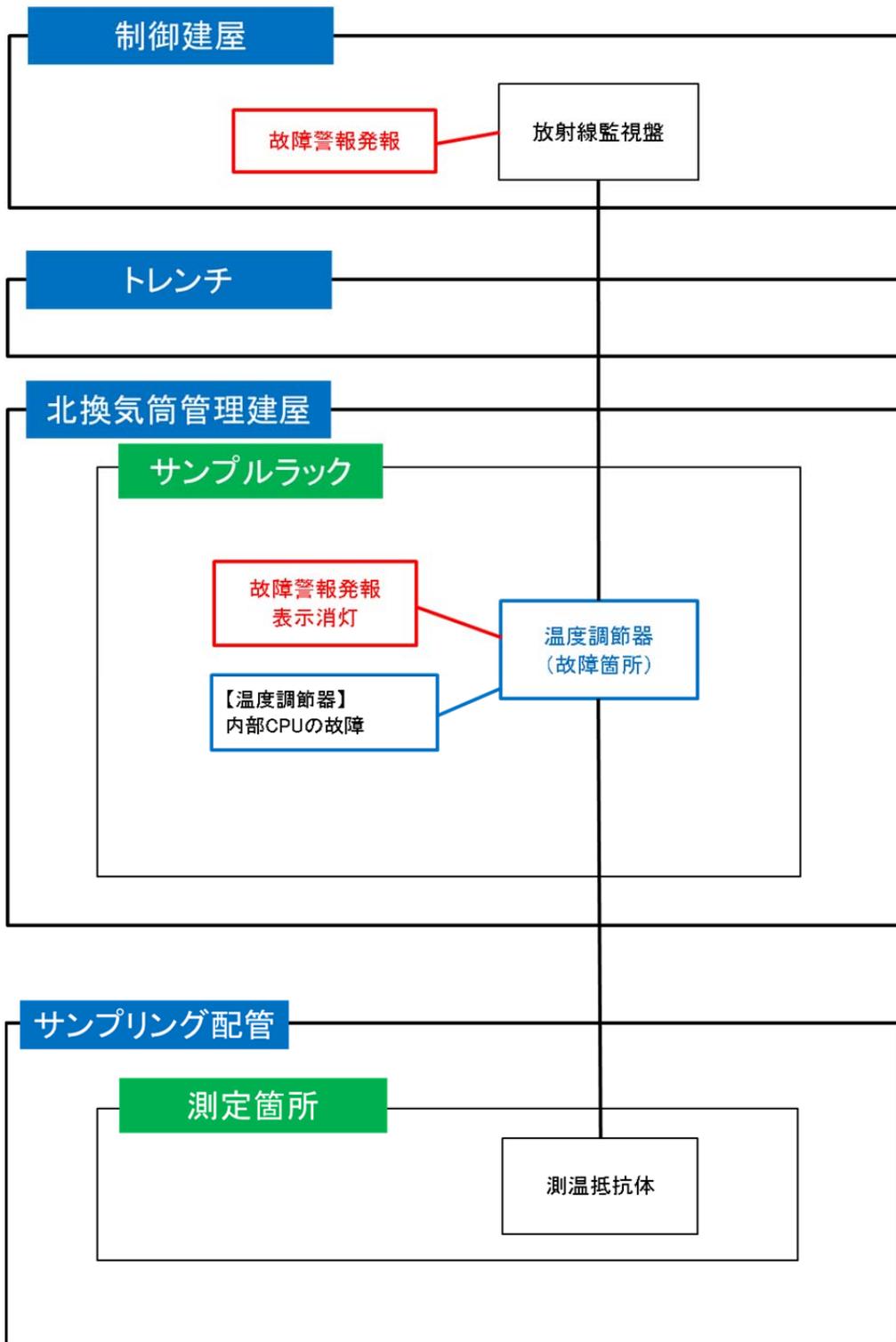


図 6 - 5 屋外ヒータ B 温度計の故障状況

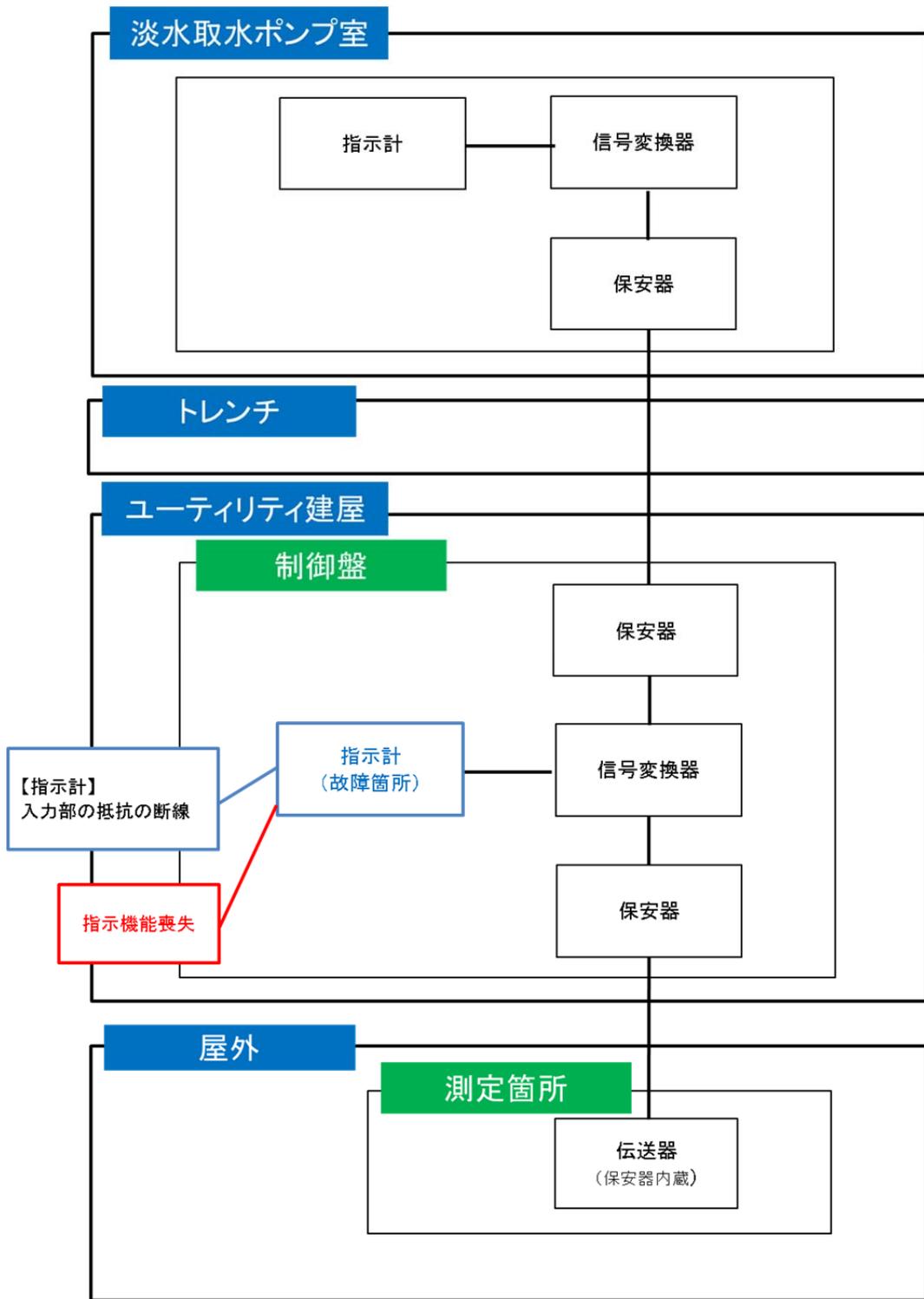


図6-6 貯水池（東）水位計の故障状況

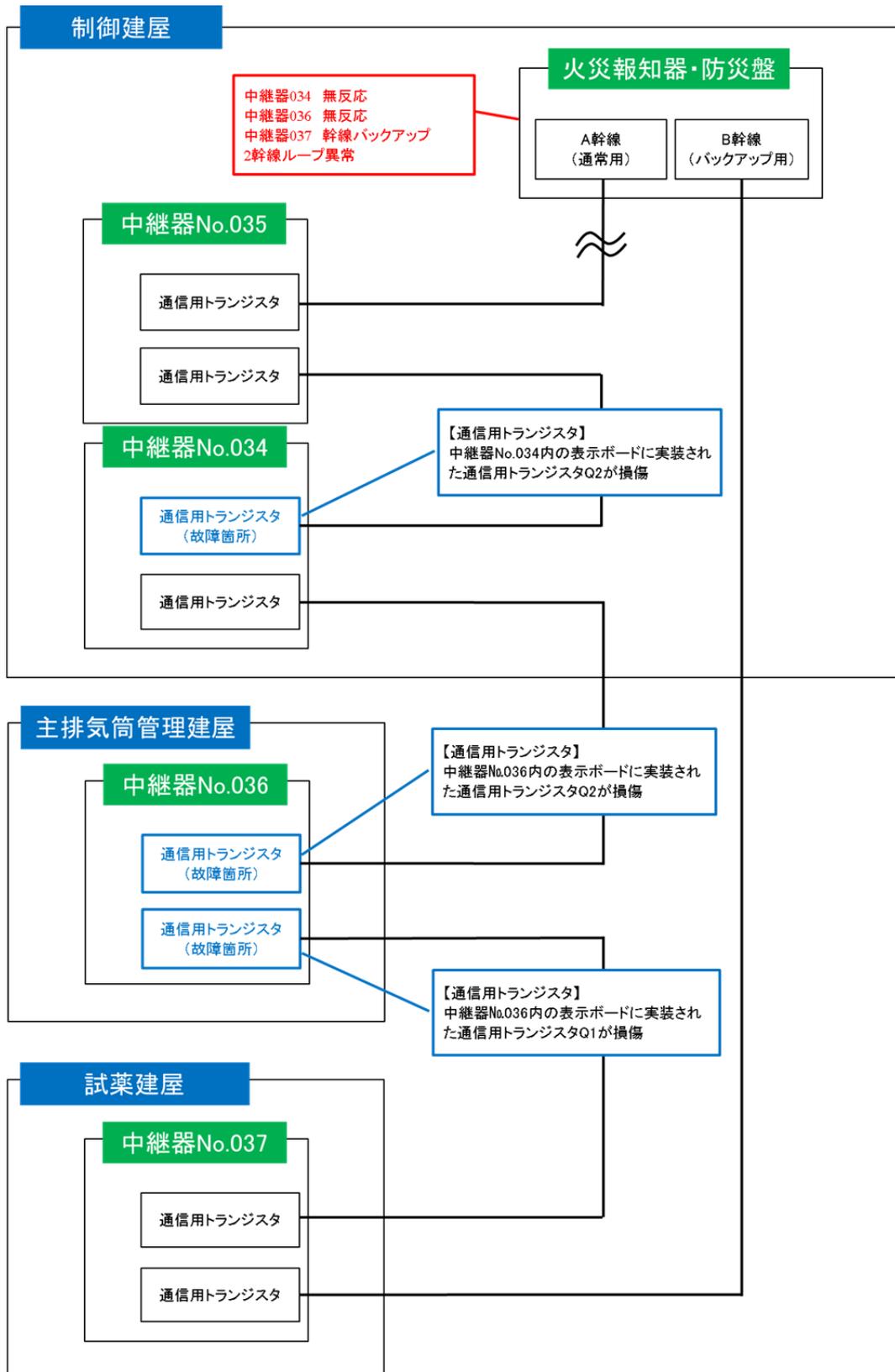
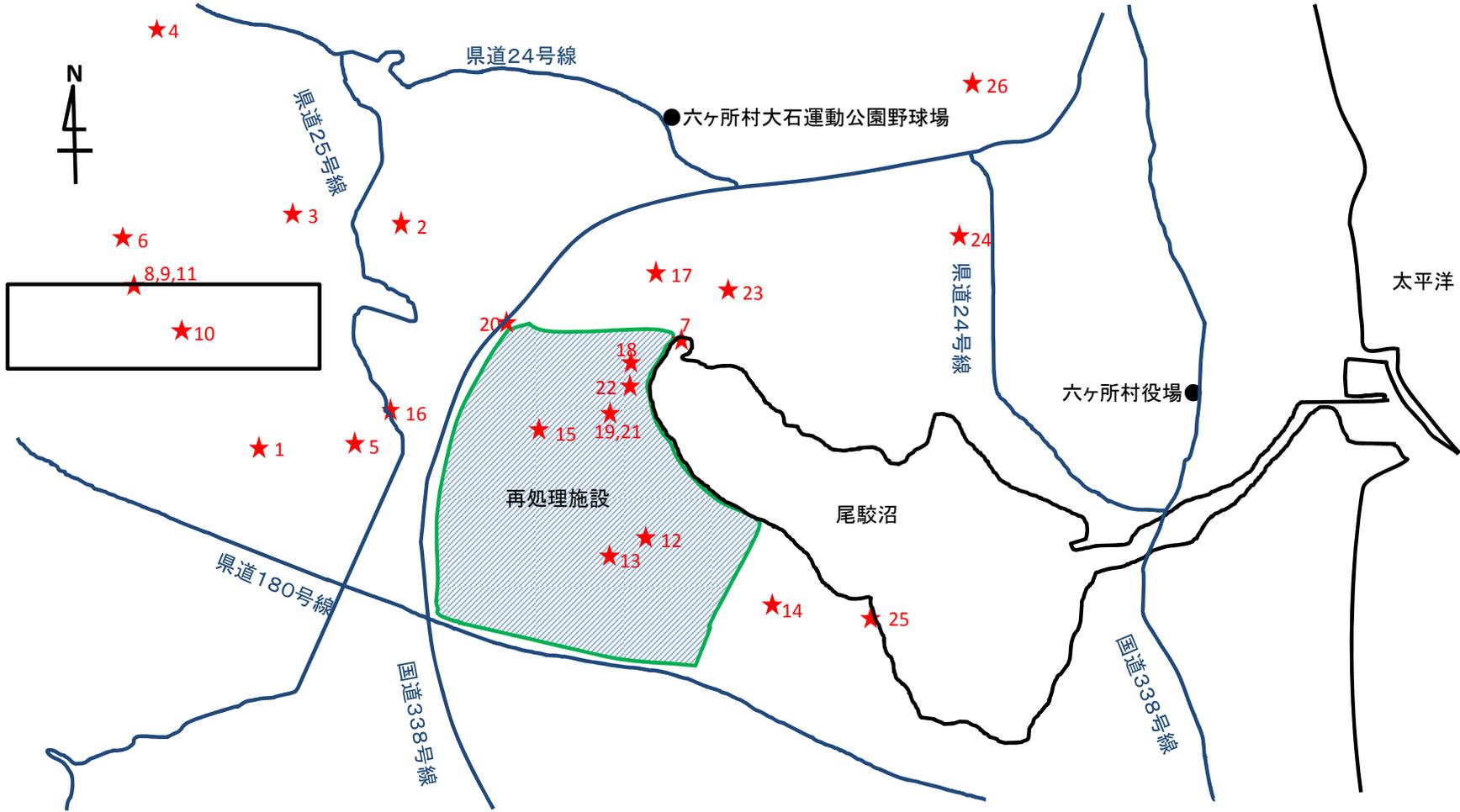


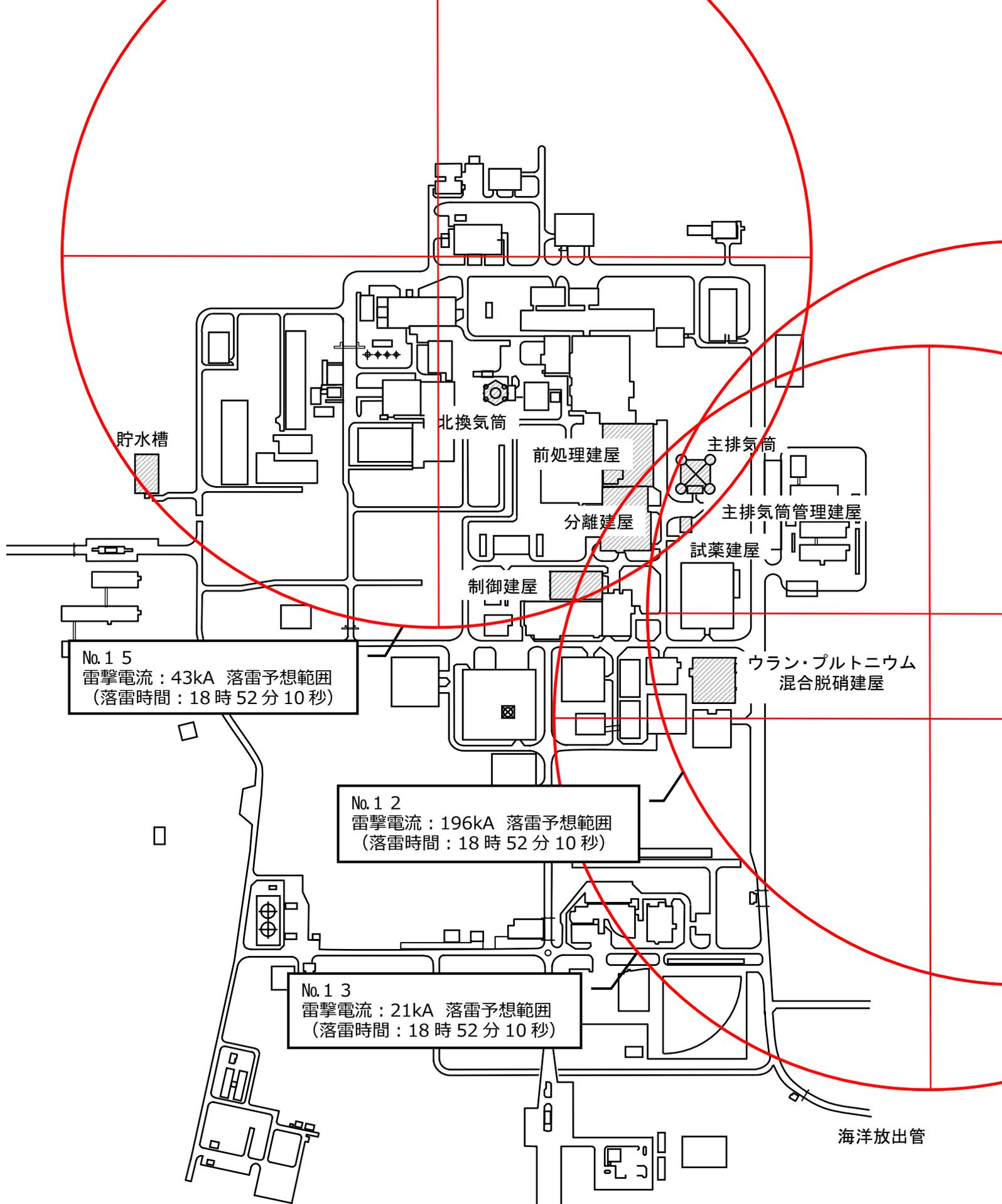
図 6 - 7 火災報知盤・防災盤に係る中継器の故障状況

再処理施設敷地内及び周辺における落雷想定箇所

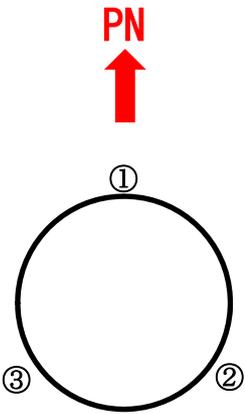


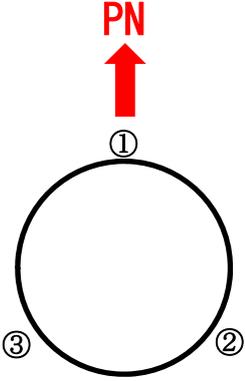
番号	落雷時間
1～3	18時49分17秒
4	18時49分42秒
5～9	18時51分04秒
10～11	18時51分05秒
12～16	18時52分10秒
17～22	18時52分59秒
23～26	18時55分07秒

★: 落雷想定箇所

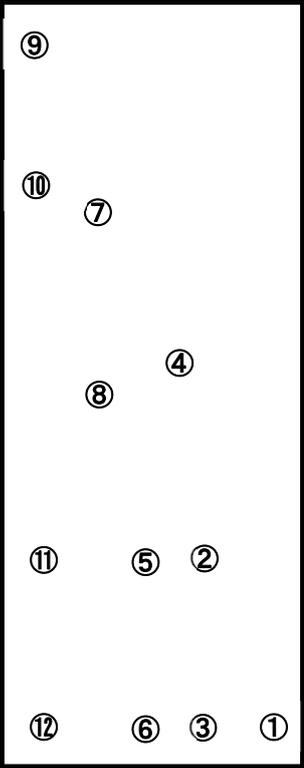


避雷針での落雷痕跡の調査結果

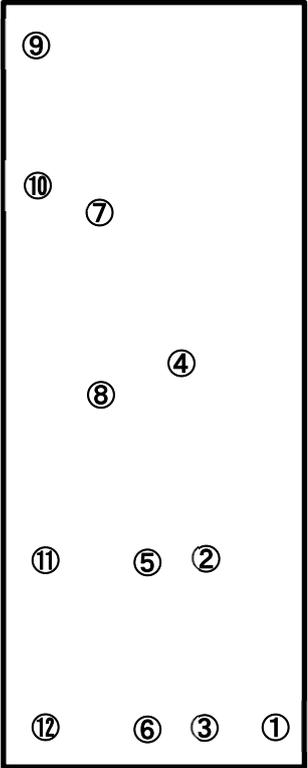
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
主排気筒		<p>①</p>  <p>②</p> 	<p>① 落雷によるものと思われる溶融痕が確認された。ただし今回の落雷によるものかは不明。</p> <p>② 落雷痕は確認されなかった。</p>

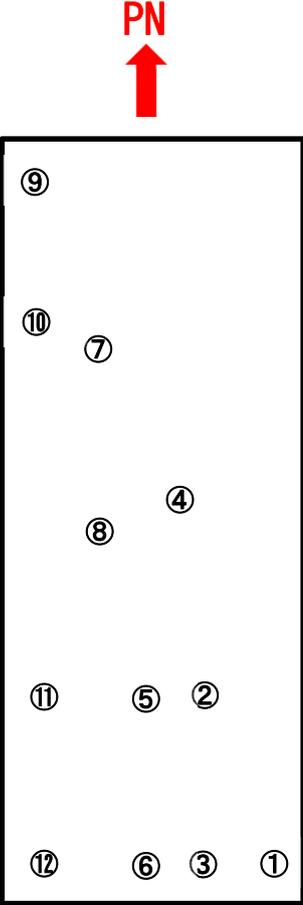
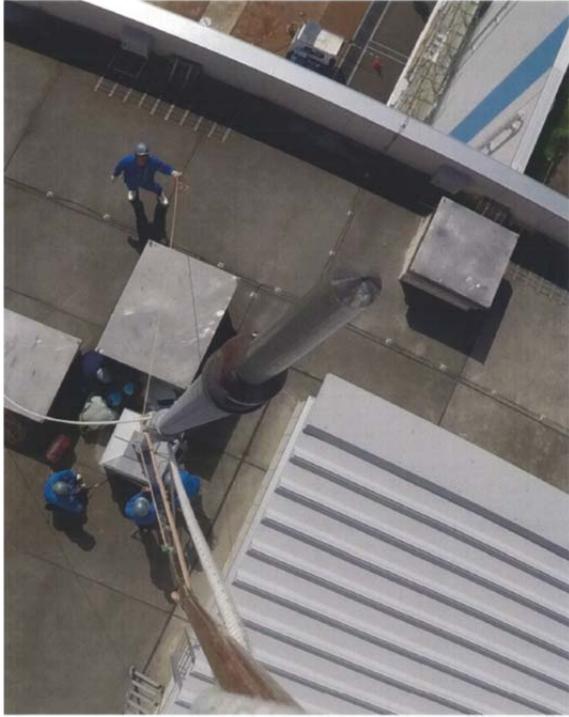
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
主排気筒		<p>③</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

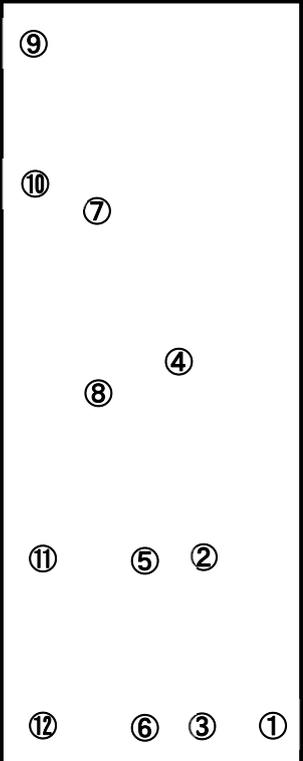
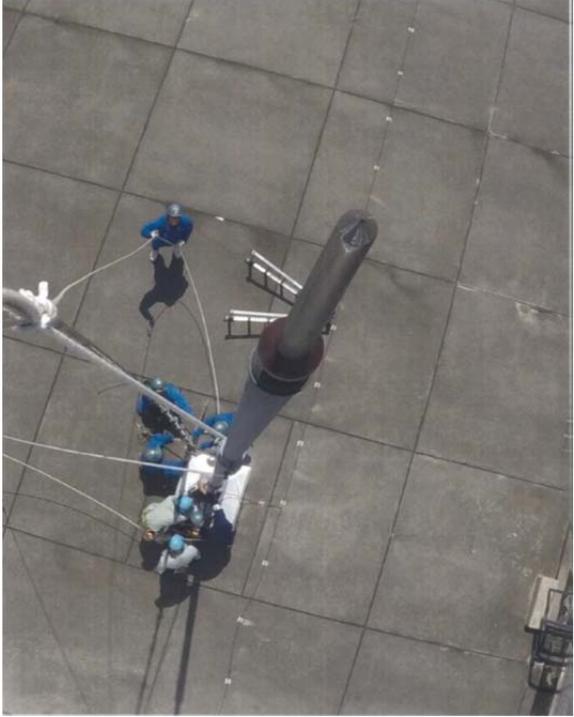
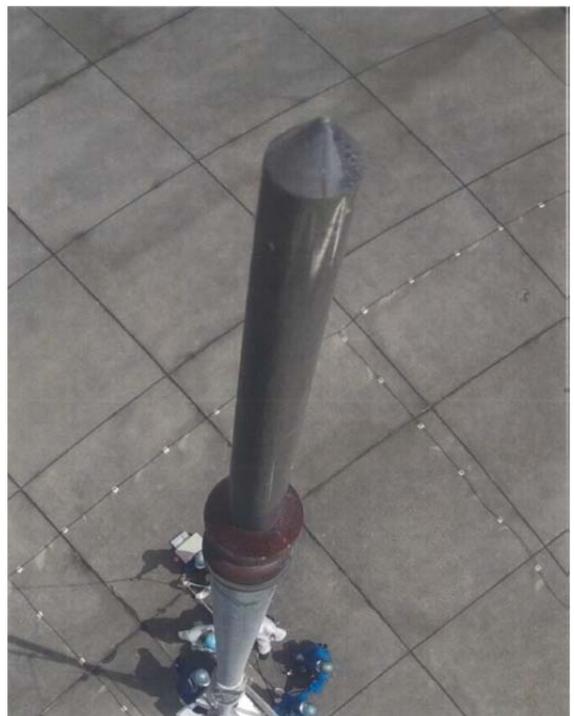
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">PN ↑</p> <div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p style="text-align: center;">⑨</p> <p style="text-align: center;">⑩ ⑦</p> <p style="text-align: center;"> ④</p> <p style="text-align: center;"> ⑧</p> <p style="text-align: center;">⑪ ⑤ ②</p> <p style="text-align: center;">⑫ ⑥ ③ ①</p> </div>	<p>①</p>  <p>②</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

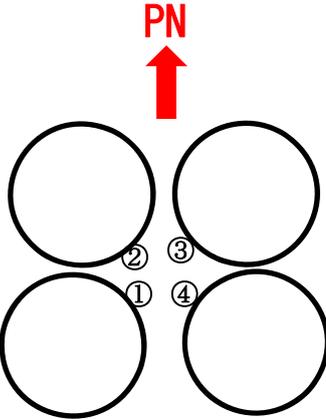
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>③</p>  <p>④</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

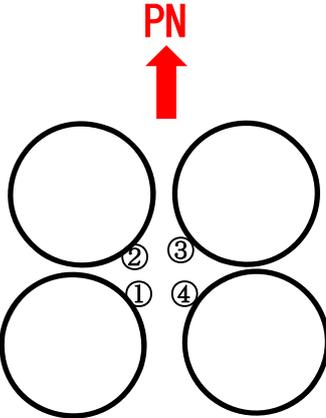
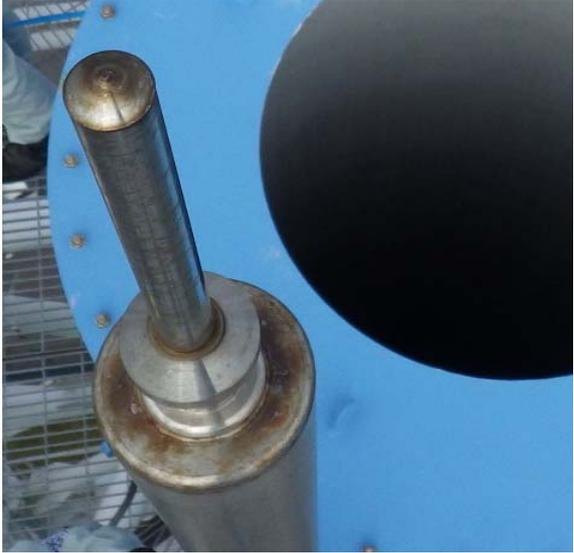
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">分離建屋</p>	<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">PN ↑</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>⑨</p> <p>⑩ ⑦</p> <p>⑧ ④</p> <p>⑪ ⑤ ②</p> <p>⑫ ⑥ ③ ①</p> </div>	<p>⑤</p>  <p>⑥</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

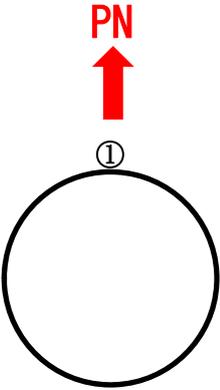
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>⑦</p>  <p>⑧</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>⑨</p>  <p>⑩</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>⑪</p>  <p>⑫</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
北換気筒		<p>①</p>  <p>②</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
北換気筒		<p>③</p>  <p>④</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
<p>低レベル廃棄物処理建屋換気筒</p>		<p>①</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

安全上重要な機器における故障箇所の調査結果

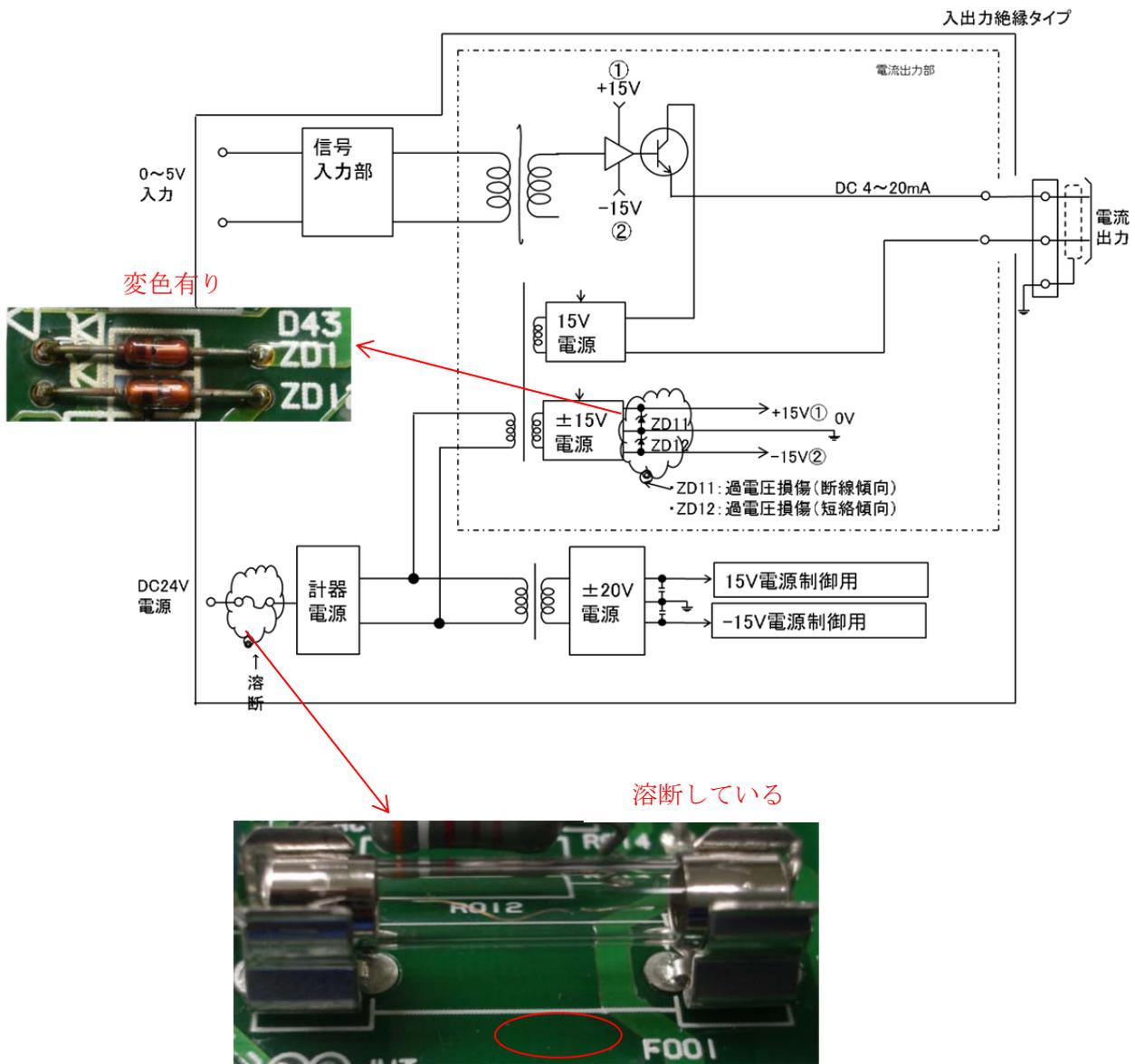
今回故障が確認された安全上重要な機器について、製造メーカーにより現品の詳細調査を行い、故障部位の特定等を行った。結果は以下のとおり。

建 屋	機器名称	調査結果	故障の推定原因
前処理建屋	溶解槽 B 放射線レベル	外観確認でヒューズの溶断、±15V 出力電源部のツェナーダイオードの変色を確認、また、ツェナーダイオードの機能不良を確認（図 9－1）	雷サージによりカード出力部端子に対地間との電位差が生じ、ツェナーダイオードを過電圧破壊したものと推定。また、ヒューズ(1A)は±15V 電源のツェナーダイオード損傷に伴い定格を超える電流が流れた結果、溶断したものと推定
	ミストフィルタ A1, A2 入口ガス圧力	外観に異常は認められなかったが、電流出力回路の異常、トランジスタの短絡故障を確認（図 9－2）	雷サージによりカード出力部端子に対地間との電位差が生じ、トランジスタの損傷に至ったと推定
分離建屋	高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿 液位 A	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプ及びトランジスタの部位に短絡故障を確認（図 9－3）	一般的な半導体の故障原因である過電圧破壊により、短絡故障したものと推定
	高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿 液位 B	外観確認で出力回路のオペアンプ周辺に変色を確認、また、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認（図 9－4）	
	廃ガス洗浄塔入口圧力 A	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認（図 9－5）	
	廃ガス洗浄塔入口圧力 B	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認（図 9－6）	
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 A	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプ及びトランジスタの部位に短絡故障を確認（図 9－7）	
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 B	外観確認で出力回路のオペアンプ周辺に変色を確認、また、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認（図 9－8）	

建 屋	機器名称	調査結果	故障の推定原因
分離建屋	高レベル廃液濃縮缶 加熱蒸気温度 A	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプ及びトランジスタの部位に短絡故障を確認 (図9-9)	一般的な半導体の故障原因である過電圧破壊により、短絡故障したものと推定
	高レベル廃液濃縮缶 加熱蒸気温度 B	外観確認で出力回路のオペアンプ周辺に変色を確認、また、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認 (図9-10)	
	放射性配管分岐第2 セル漏えい液受皿2 液位 A	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認 (図9-11)	
	放射性配管分岐第2 セル漏えい液受皿2 液位 B	外観確認で出力回路のオペアンプ周辺に変色を確認、また、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認 (図9-12)	
	ウラン濃縮缶加熱蒸気 温度 A	外観に異常は認められなかったが、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認 (図9-13)	
	ウラン濃縮缶加熱蒸気 温度 B	外観確認で出力回路のオペアンプ周辺に変色を確認、また、出力回路のオペアンプの部位に短絡故障を確認 (図9-14)	
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	粉末充てん第2秤量器 質量 B	外観に異常は認められなかったが、アナログ出力基板からの出力異常を確認 (図9-15)	過電圧による電流出力基板上のD/Aコンバータが損傷したものと推定

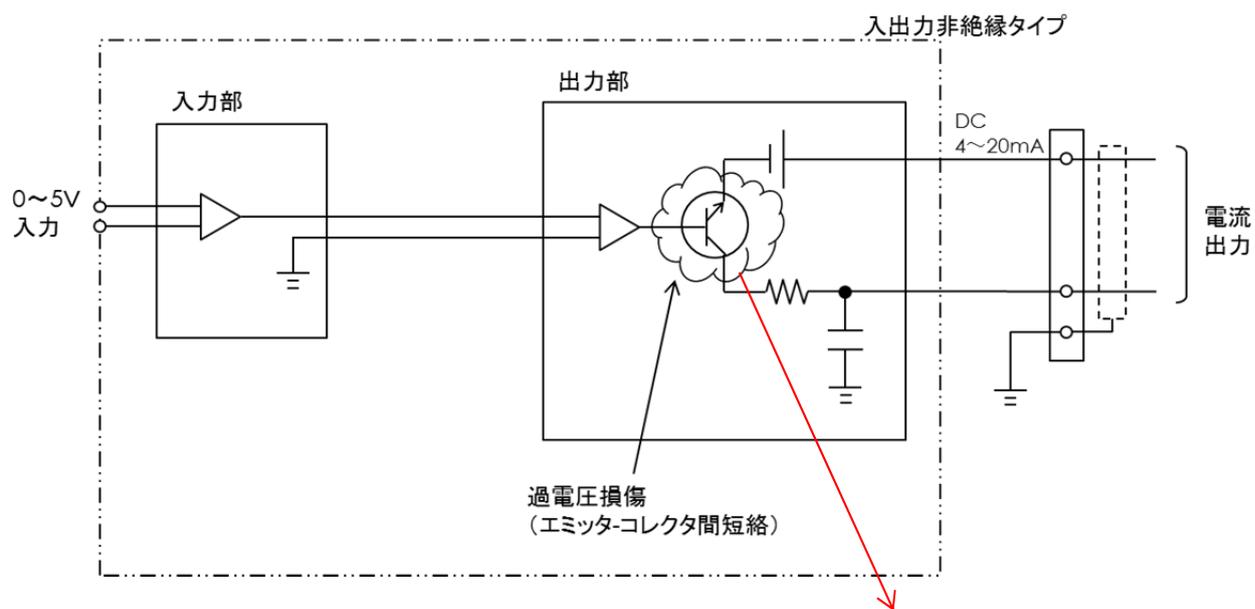
【現品点検から確認できた事実からの故障推定メカニズム】

- ・ 損傷した部位は、トランジスタやオペアンプ等の素子のみであり、これらが過電圧による絶縁破壊により短絡したものであった。
- ・ 素子損傷の原因は、建屋間ケーブル取り合い部において落雷により各建屋間の接地電位が過渡的に変動し、この電位差が影響して基板の素子の過電圧破壊を招いたものと推定される。
- ・ なお、基板上の一部の変色は、素子損傷による素子内短絡状況における通電により若干変色したものである。



ヒューズは±15V 電源のツェナーダイオード損傷に伴い定格を超える電流が流れた結果、熔断したものと推定

図9-1 溶解槽B放射線レベル 調査結果



外観上異常はないが、
電気特性に異常有り



図9-2 ミストフィルタ A1, A2 入口ガス圧力 調査結果

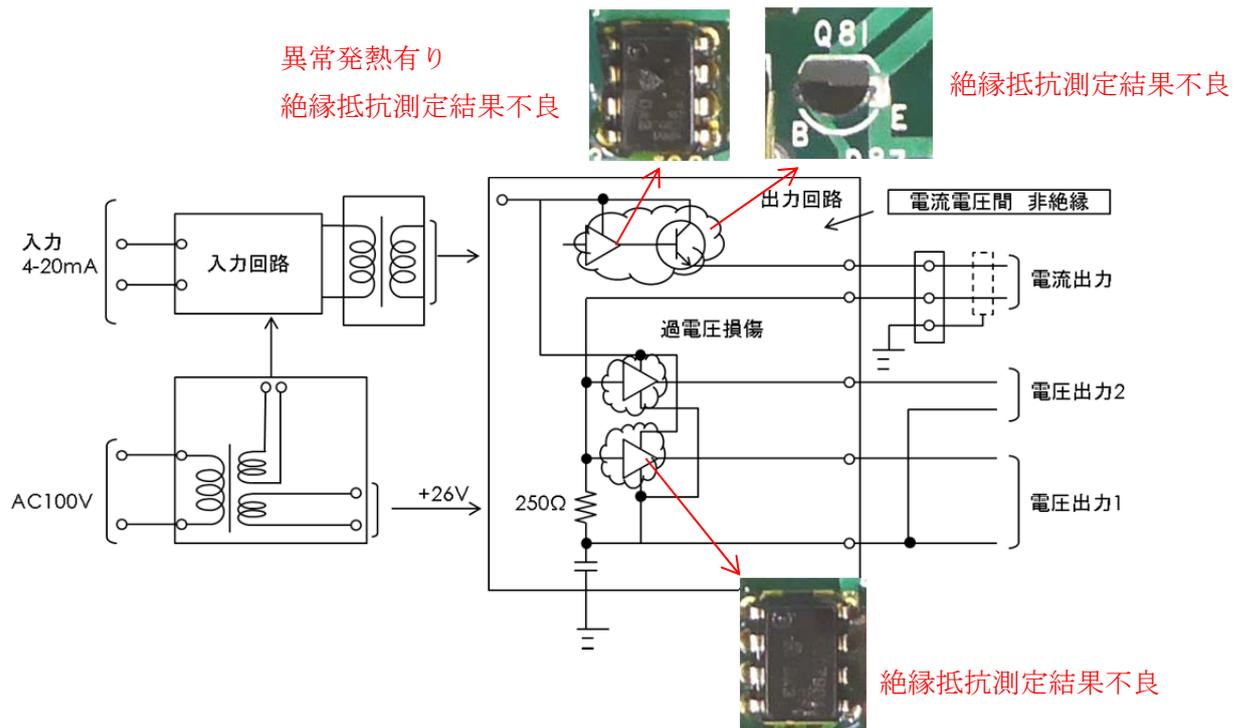
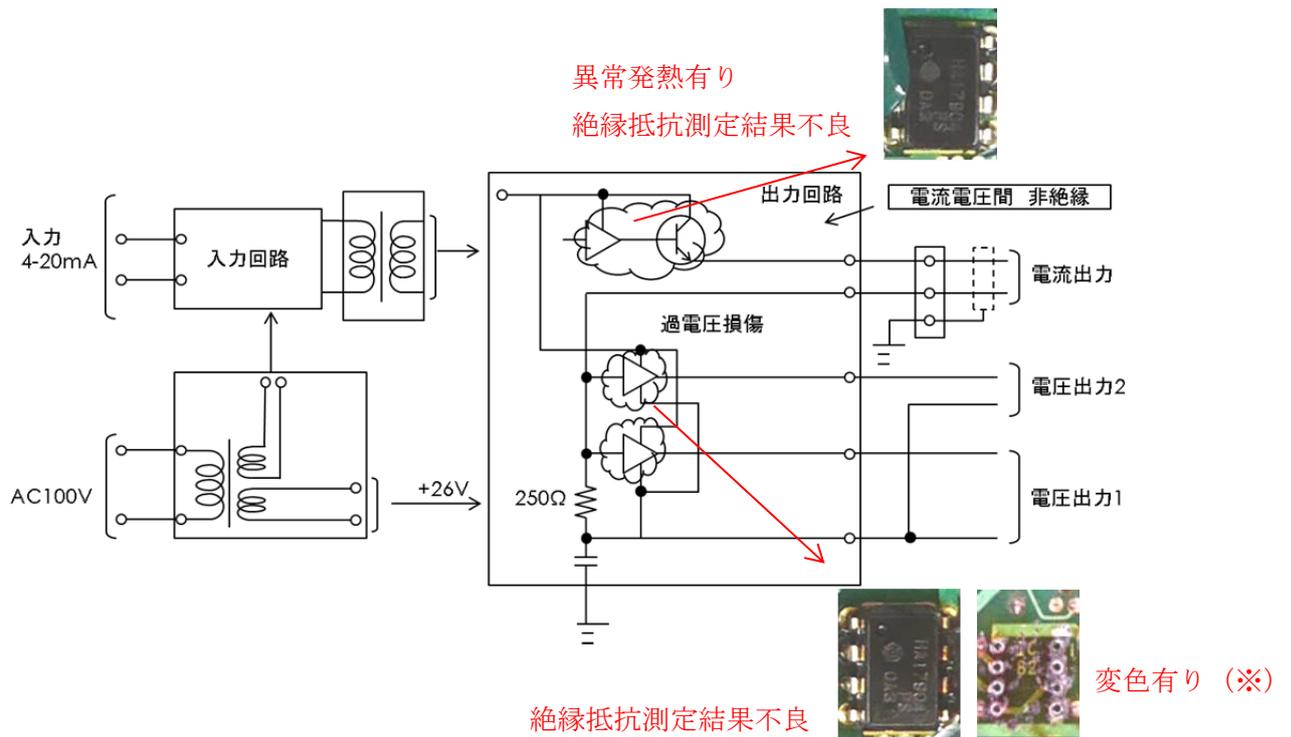


図9-3 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受血液位A 調査結果



※変色はサージによる影響ではなく、IC故障の異常発熱による基板の変色と判断した。

図9-4 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受血液位B 調査結果

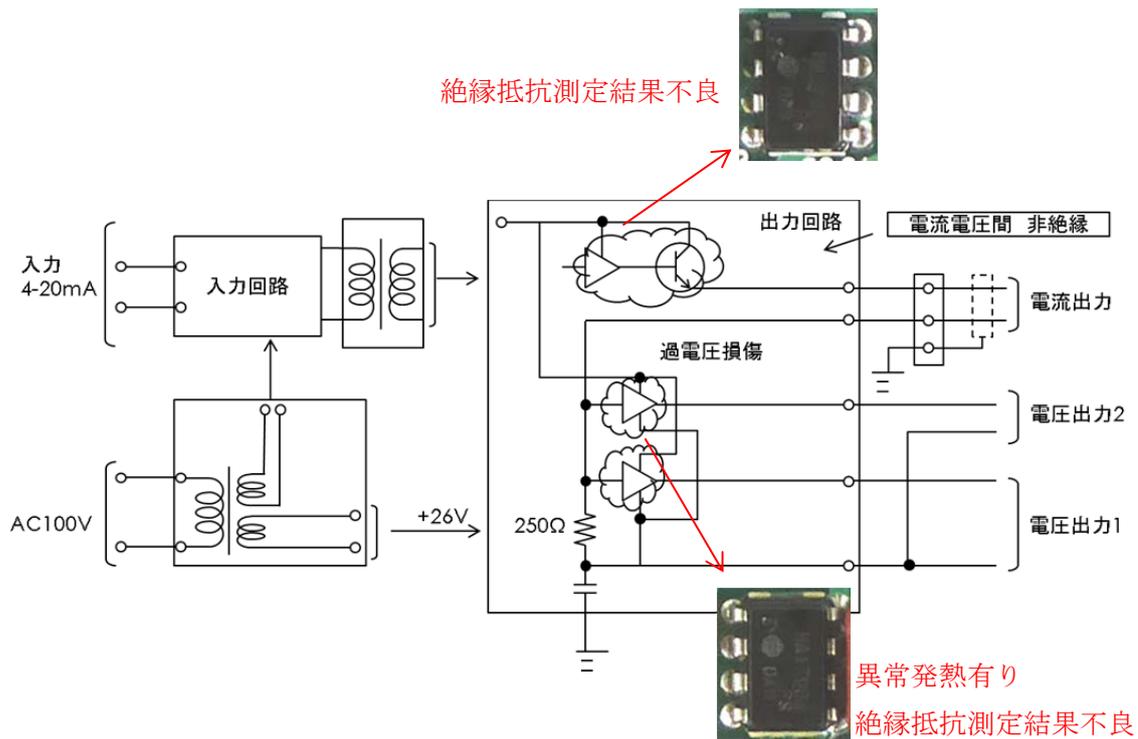


図 9 - 5 廃ガス洗浄塔入口圧力 A 調査結果

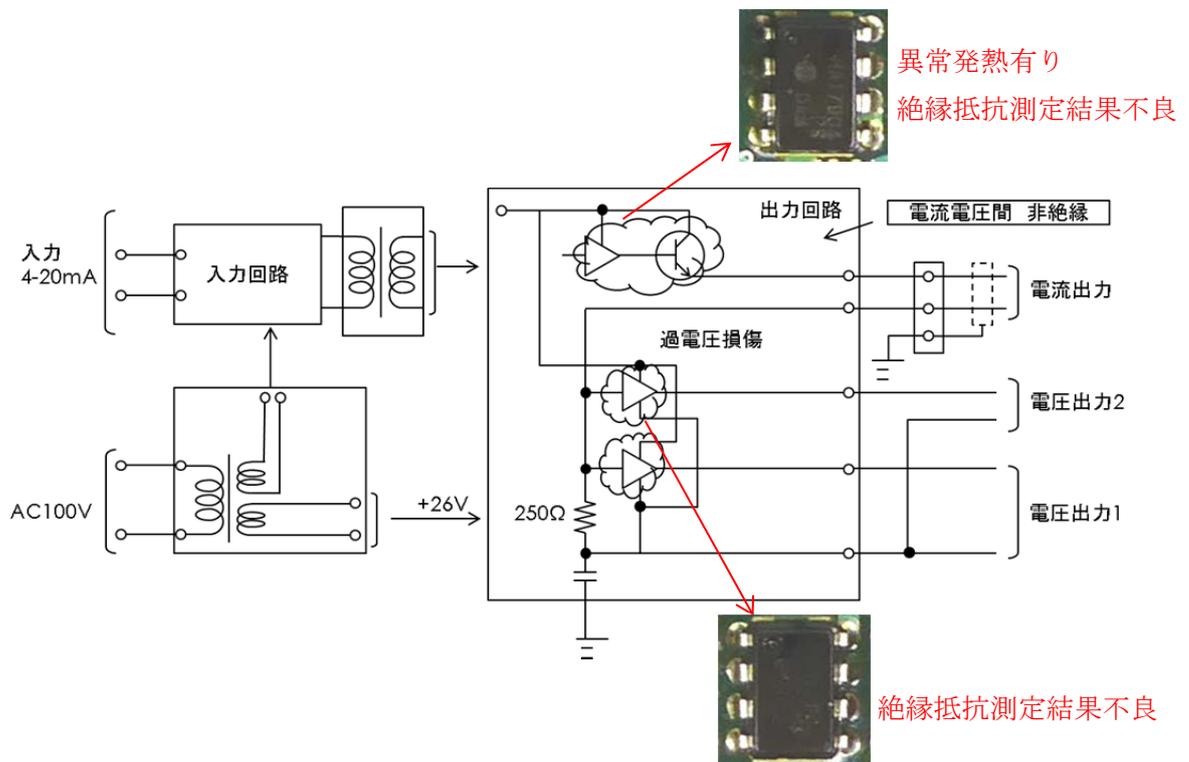


図 9 - 6 廃ガス洗浄塔入口圧力 B 調査結果

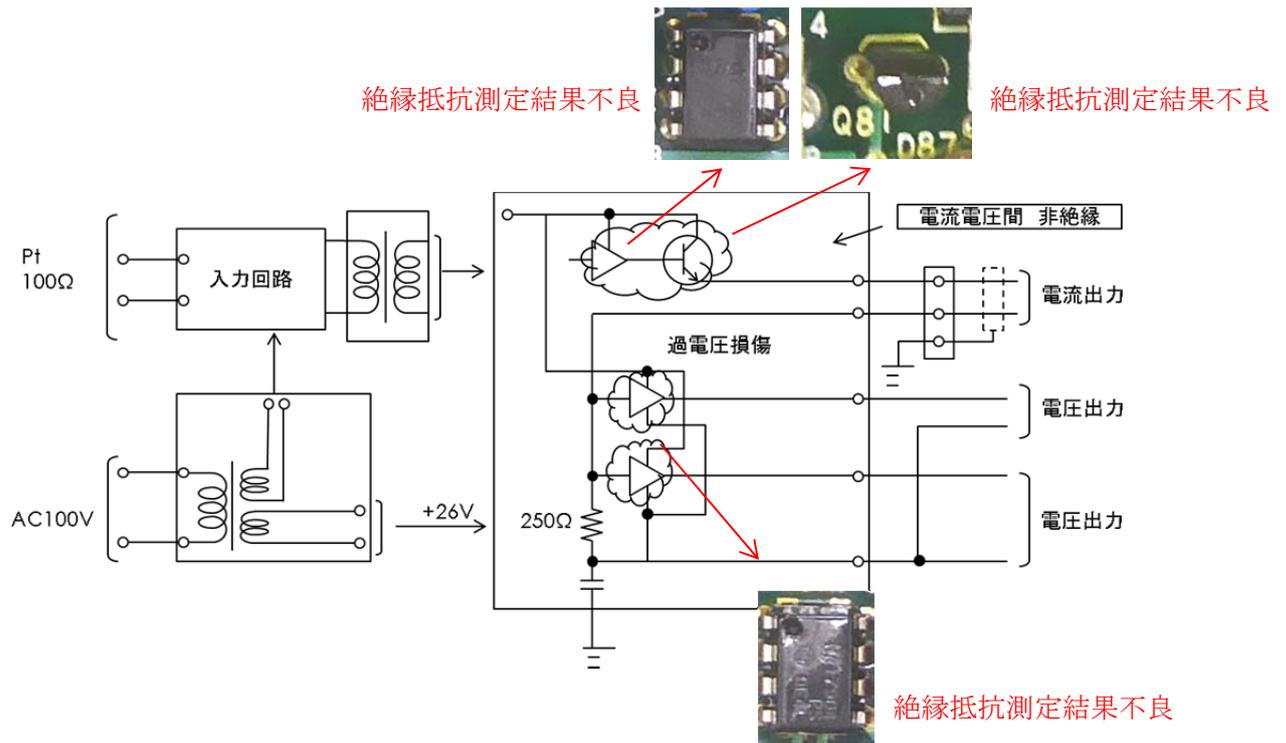
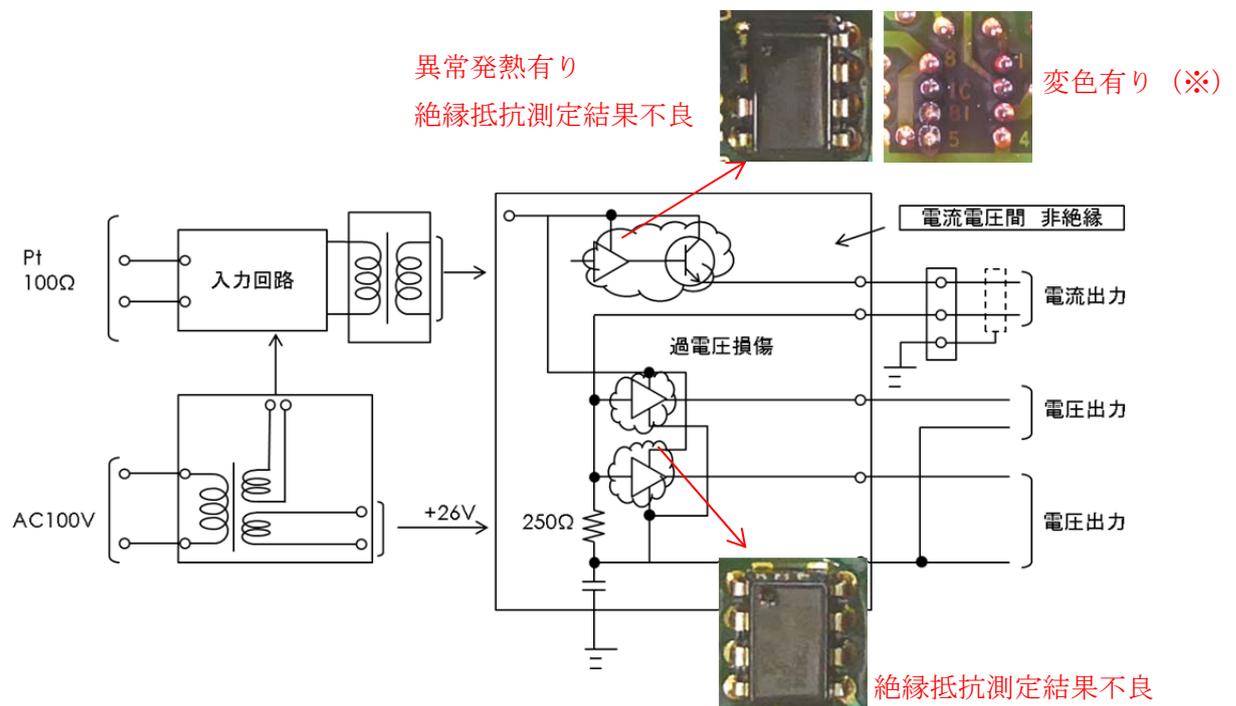


図 9 - 7 高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 A 調査結果



※変色はサージによる影響ではなく、IC 故障の異常発熱による基板の変色と判断した。

図 9 - 8 高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 B 調査結果

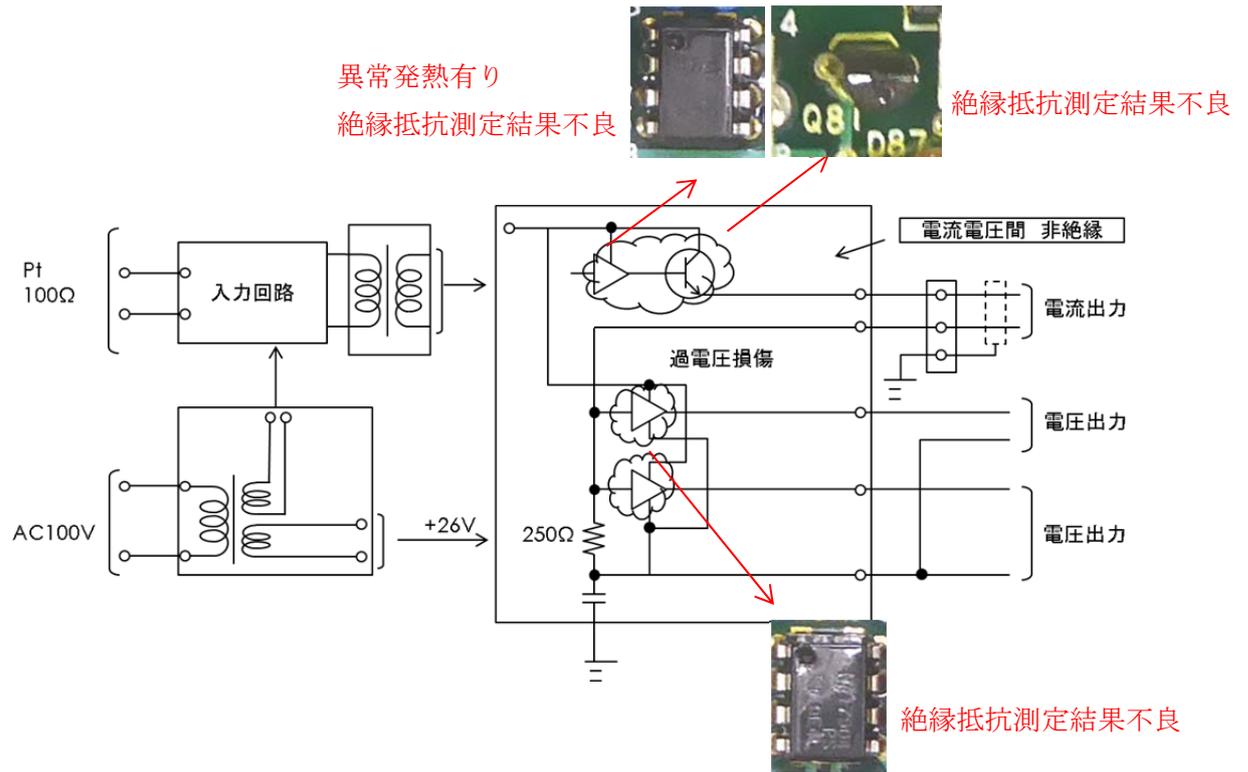
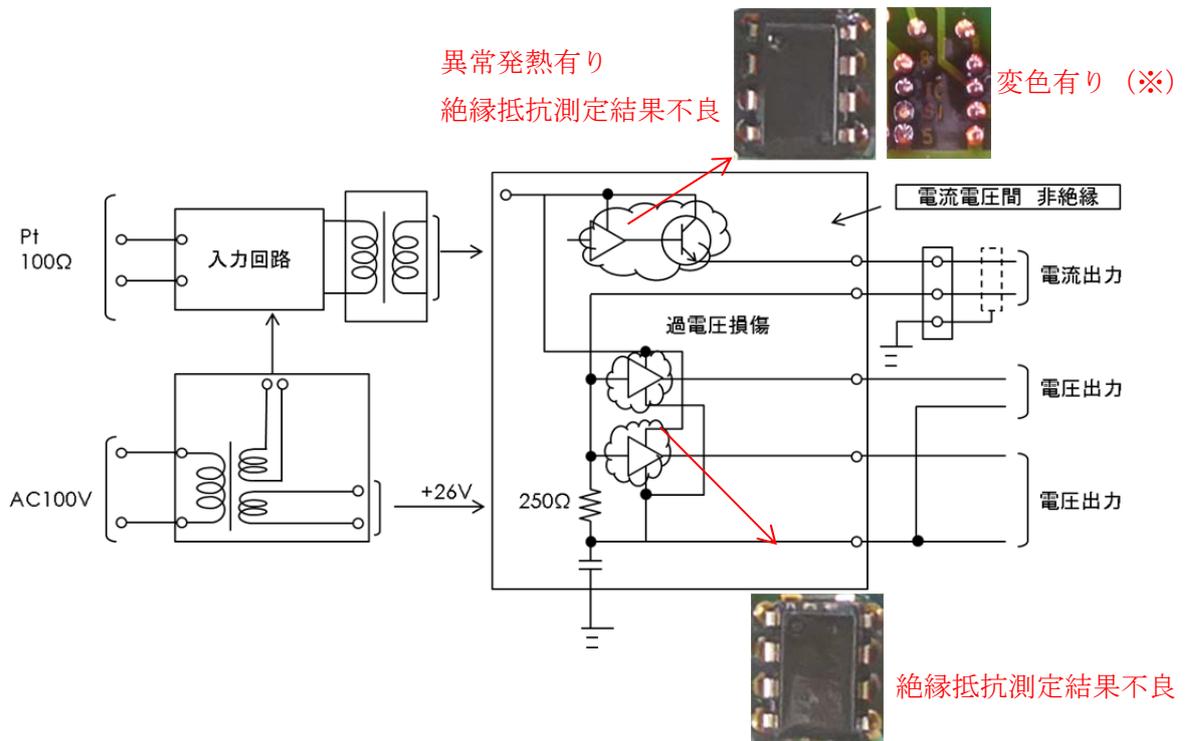


図9-9 高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 A 調査結果



※変色はサージによる影響ではなく、IC故障の異常発熱による基板の変色と判断した。

図9-10 高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 B 調査結果

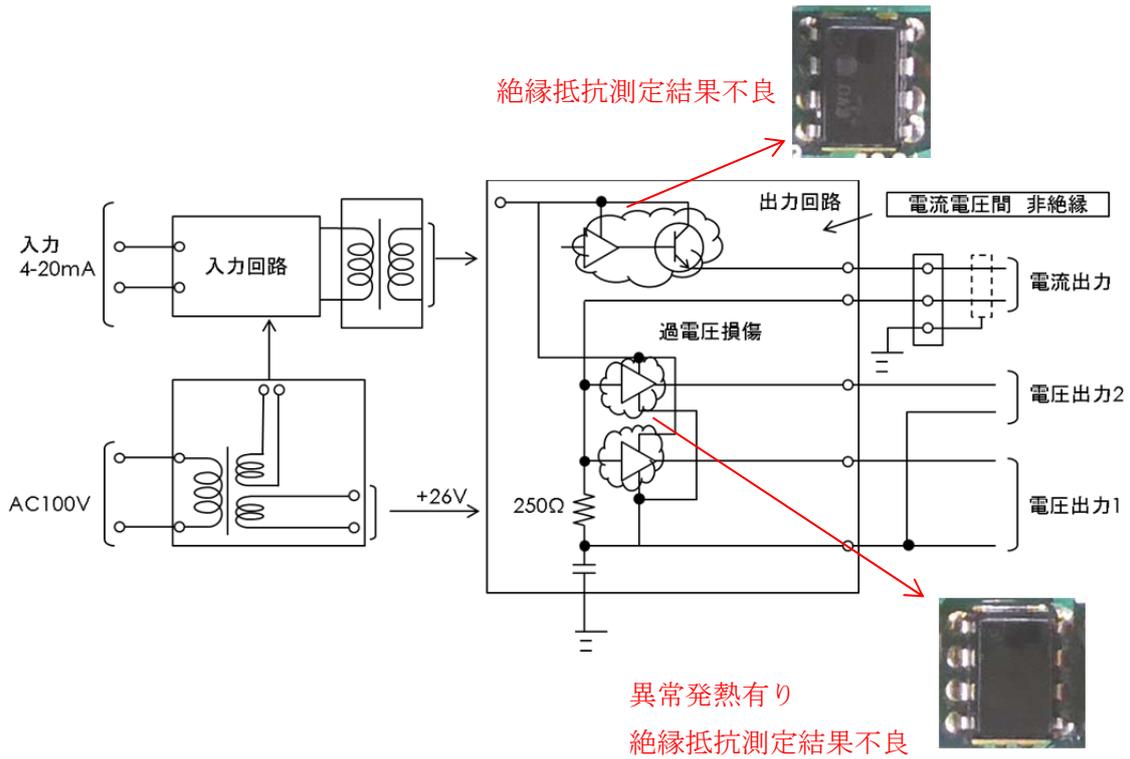
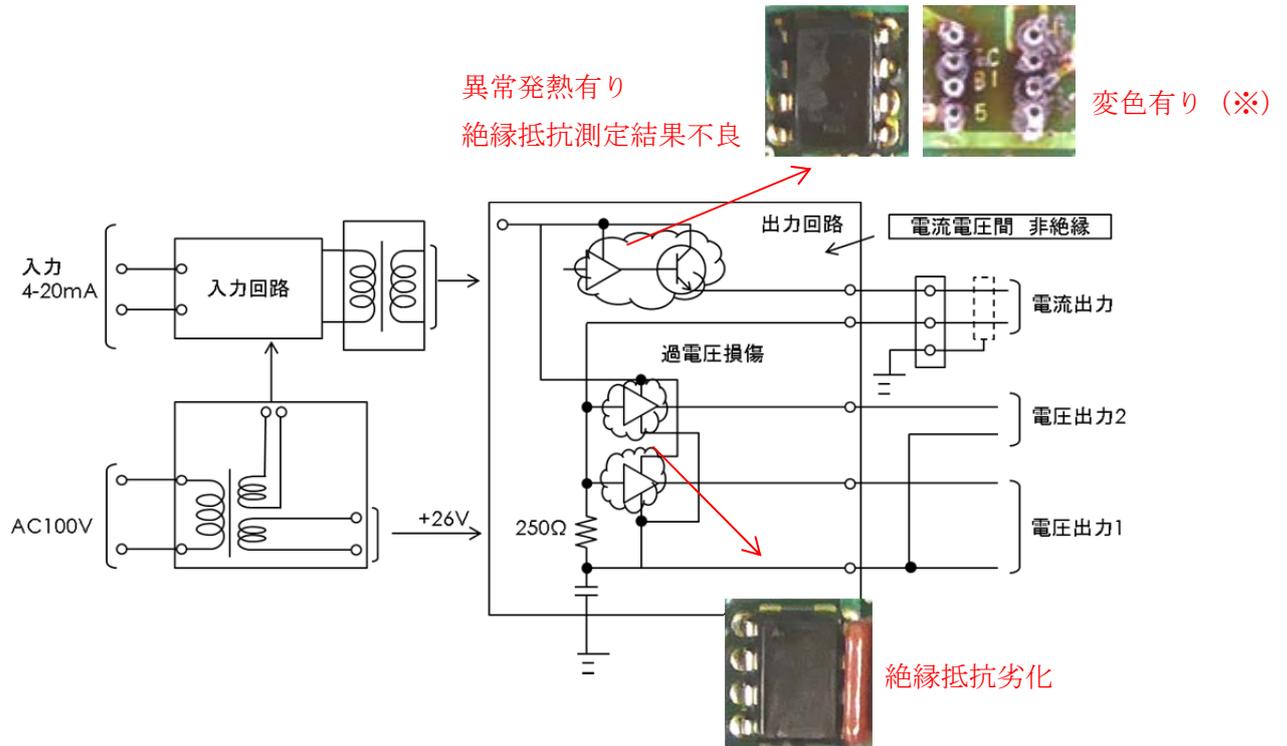


図9-1-1 放射性配管分岐第2セル漏えい液受皿2液位A 調査結果



※変色はサージによる影響ではなく、IC故障の異常発熱による基板の変色と判断した。

図9-1-2 放射性配管分岐第2セル漏えい液受皿2液位B 調査結果

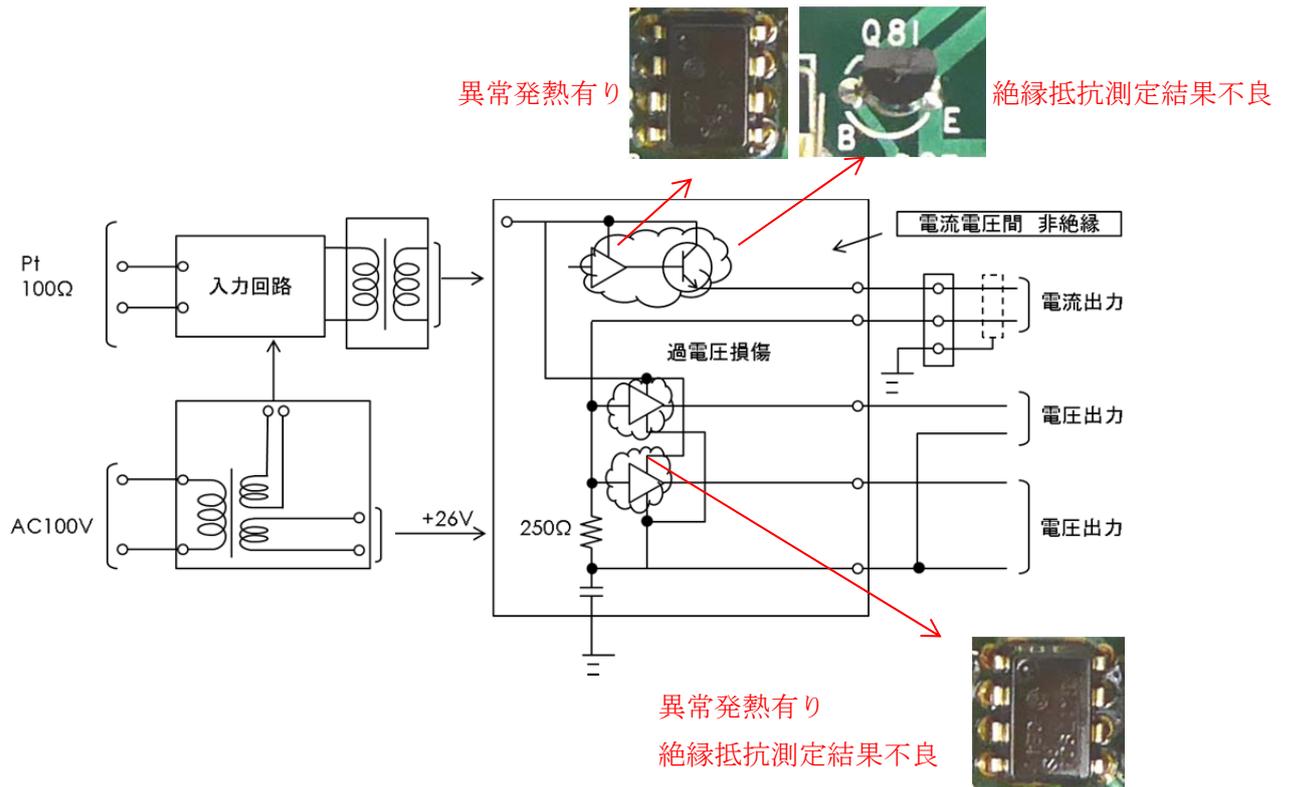
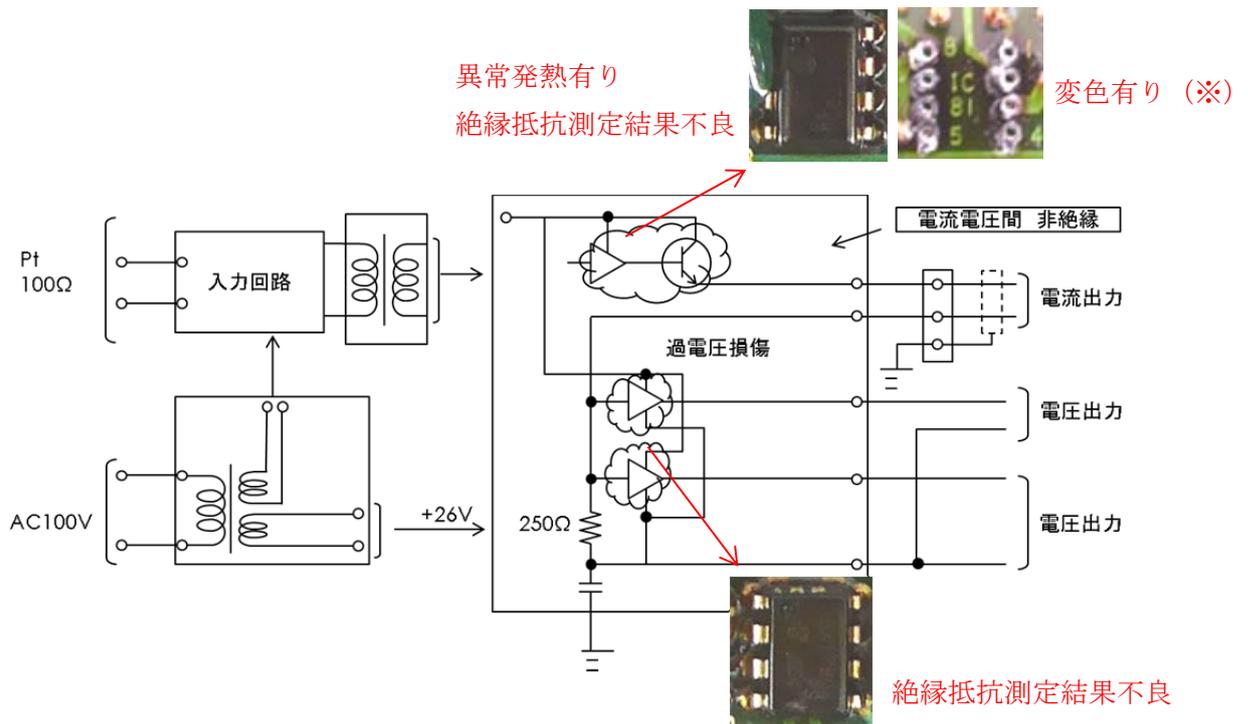


図9-13 ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 A 調査結果



※変色はサージによる影響ではなく、IC故障の異常発熱による基板の変色と判断した。

図9-14 ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 B 調査結果

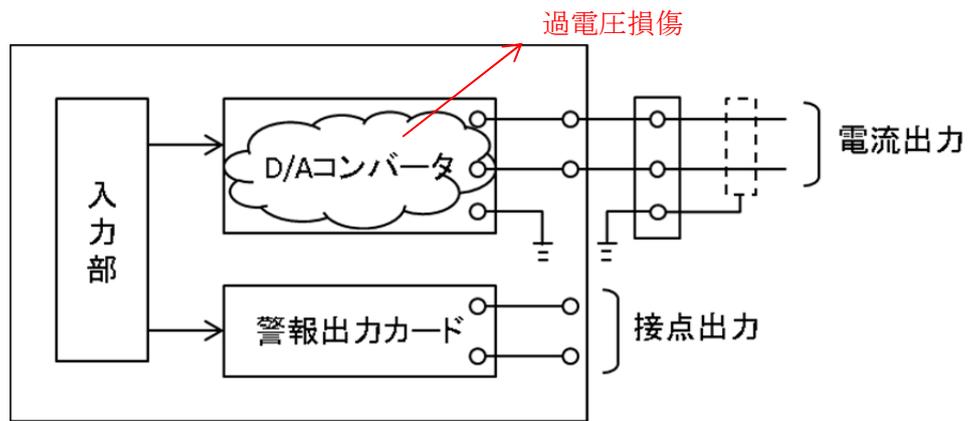


図9-15 粉末充てん第2秤量器 質量B 調査結果

故障が確認された安全上重要な機器の故障状況

建屋	機器名称	故障状況
前処理建屋	溶解槽 B 放射線レベル	安全系監視制御盤の指示値（線量）が通常状態と異なるため、信号変換器の故障と判断（図 10-1）
	ミストフィルタ A1、A2 入口ガス圧力	安全系監視制御盤の指示値（圧力）が通常状態と異なるため、信号変換器の故障と判断（図 10-2）
	ミストフィルタ C1、C2 入口ガス圧力（1）	点検の結果、信号変換器出力値が通常と異なるため、信号変換器の故障と判断（図 10-2）
分離建屋	高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿液位 A	安全系監視制御盤において、A 系の指示値（液位）が通常状態と異なり、B 系の異常を示す警報が発報したため、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
	高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿液位 B	
	廃ガス洗浄塔入口圧力 A	安全系監視制御盤の指示値（圧力）が通常状態と異なるため、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
	廃ガス洗浄塔入口圧力 B	
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 A	安全系監視制御盤の指示値（温度）がオーバースケールを確認し、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 B	
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 A	安全系監視制御盤の指示値（温度）がダウンスケールを確認し、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 B	
	放射性配管分岐第 2 セル漏えい液受皿 2 液位 A	安全系監視制御盤の指示値（液位）が通常状態と異なるため、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
	放射性配管分岐第 2 セル漏えい液受皿 2 液位 B	
	ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 A	安全系監視制御盤の指示値（温度）がダウンスケールを確認し、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
	ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 B	安全系監視制御盤の指示値（温度）が通常状態と異なるため、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）
高レベル廃液濃縮缶長期予備の高レベル廃液濃縮缶凝縮器 B 出口廃ガス温度 A	点検の結果、ディストリビュータ出力値が通常状態と異なるため、ディストリビュータの故障と判断（図 10-3）	
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	粉末充てん第 2 秤量器 質量 B	安全系監視制御盤の指示値（指示計は非安重）が動作していないため、電子天秤指示変換器の故障と判断（図 10-4）

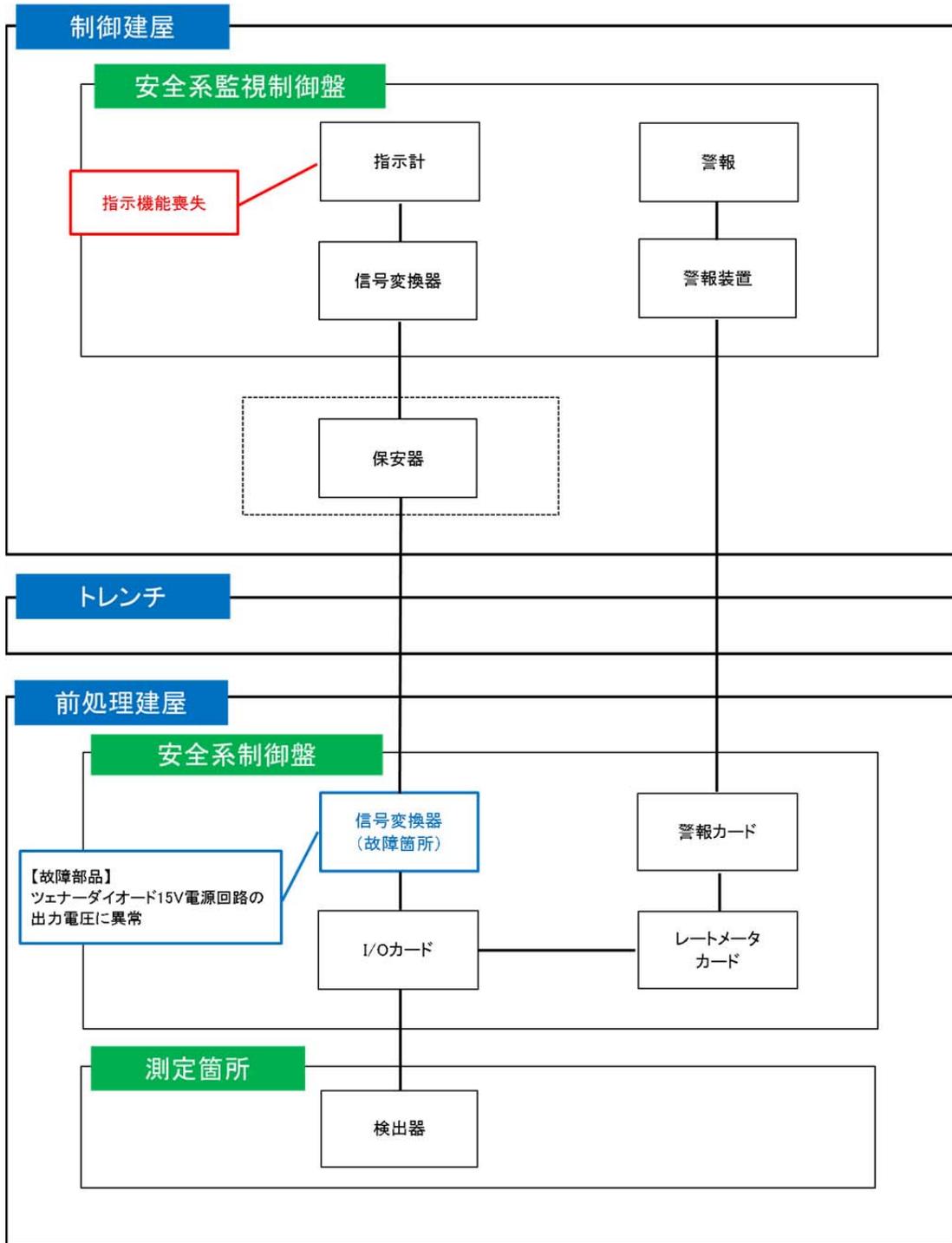


図 1 0 - 1 溶解槽 B 放射線レベルの故障状況

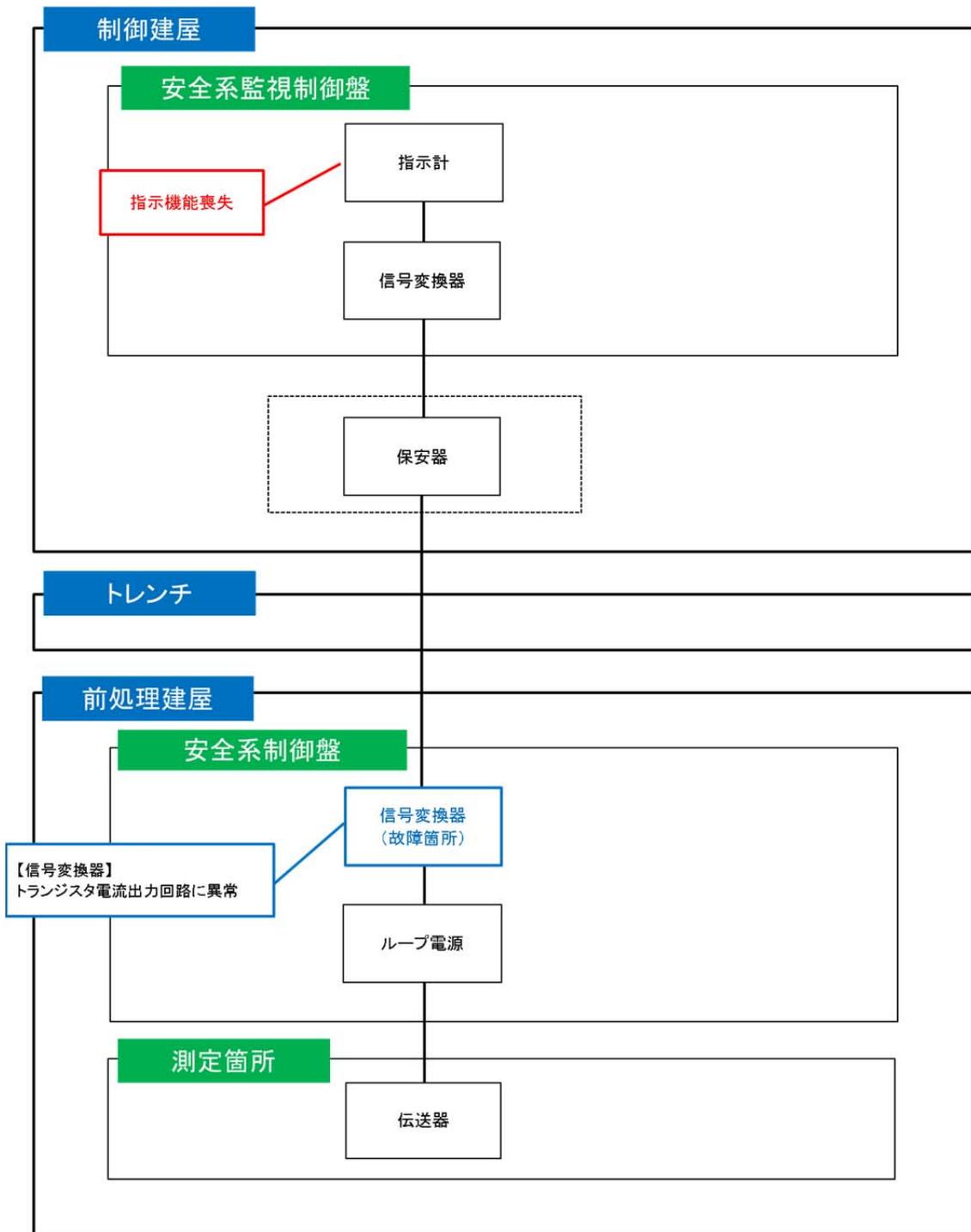


図10-2 ミストフィルタ A1、A2 入口ガス圧力、
ミストフィルタ C1、C2 入口ガス圧力 (1) の故障状況

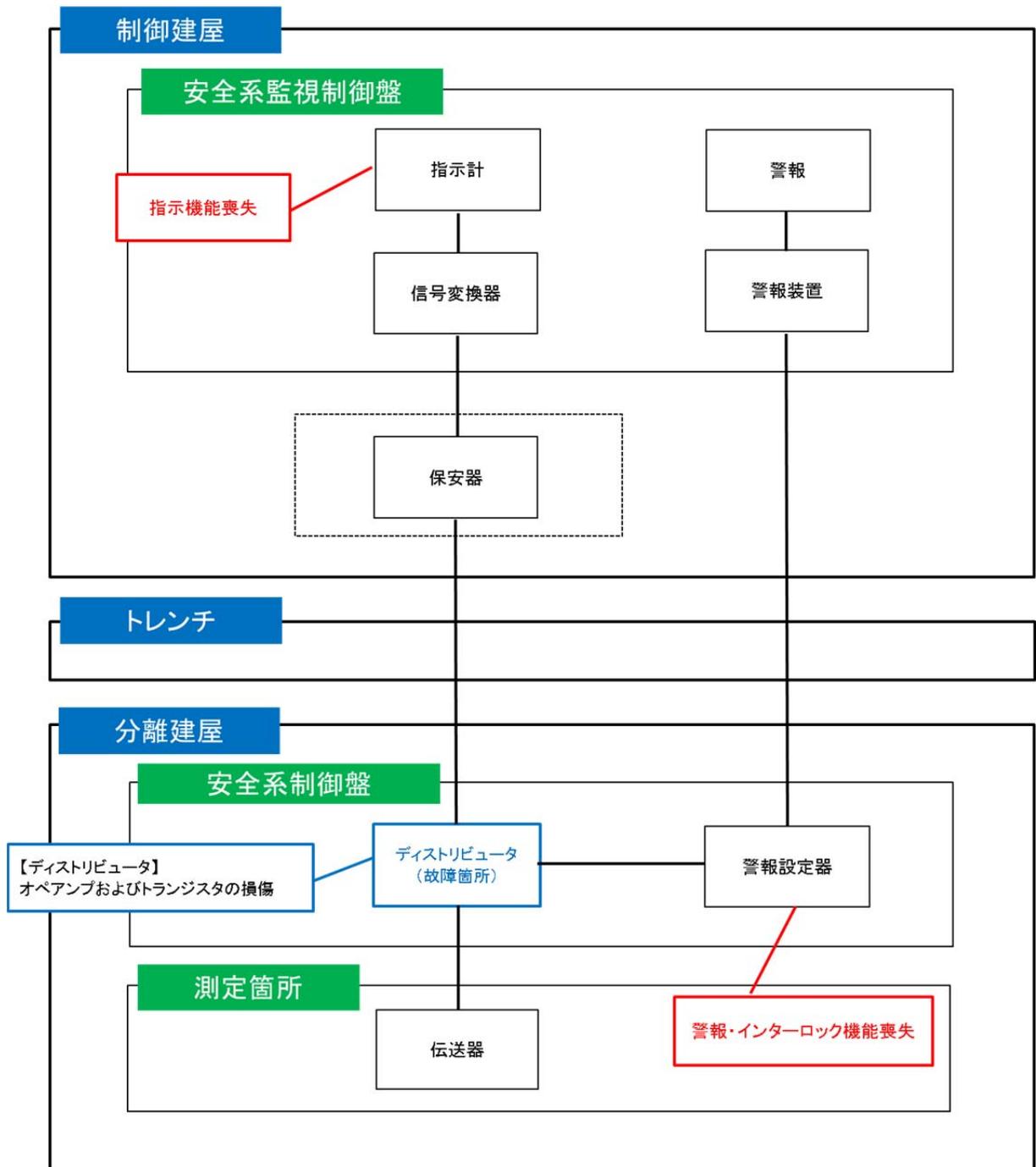


図 10-3 分離建屋で故障が確認された安全上重要な機器の故障状況

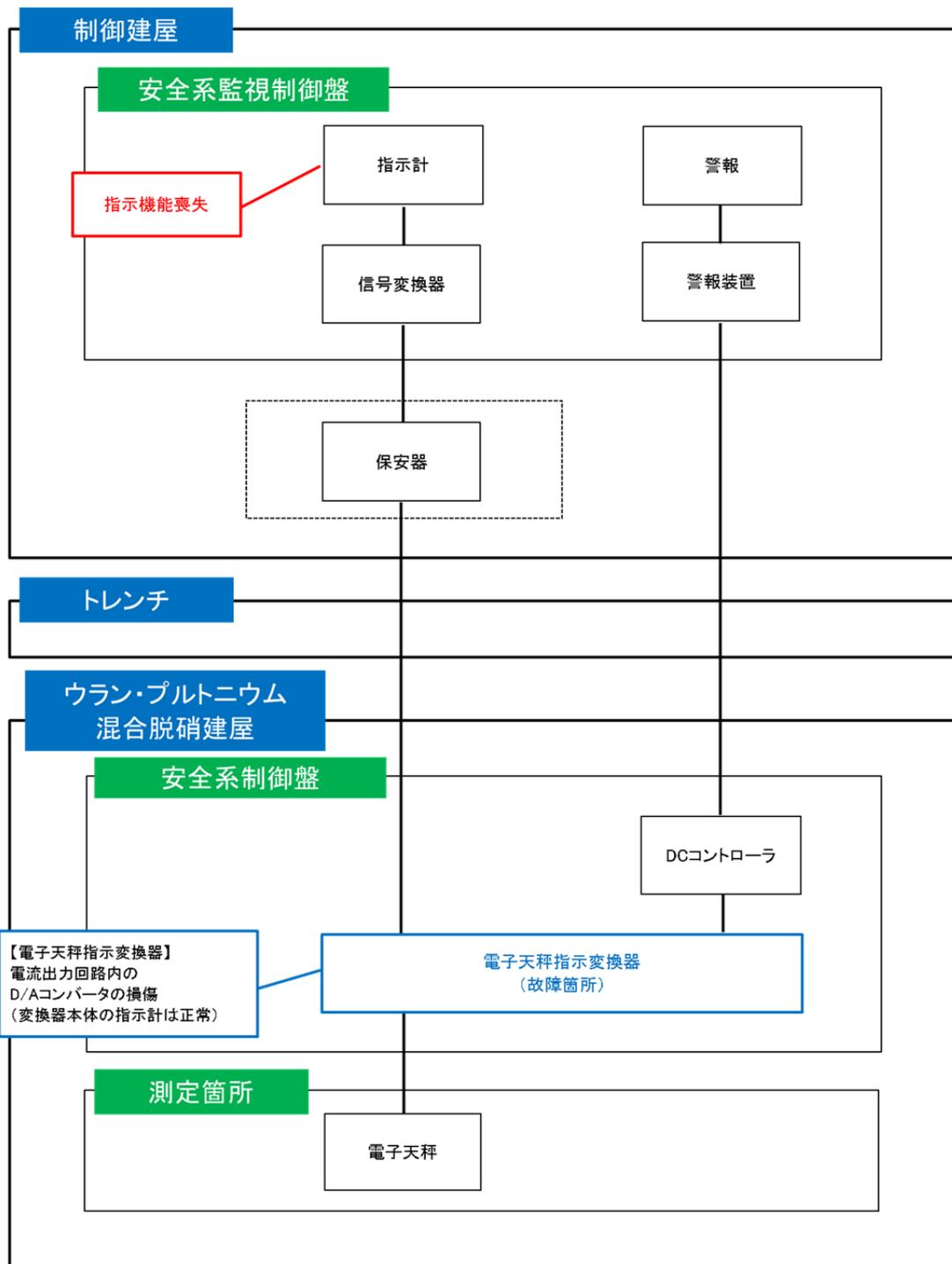
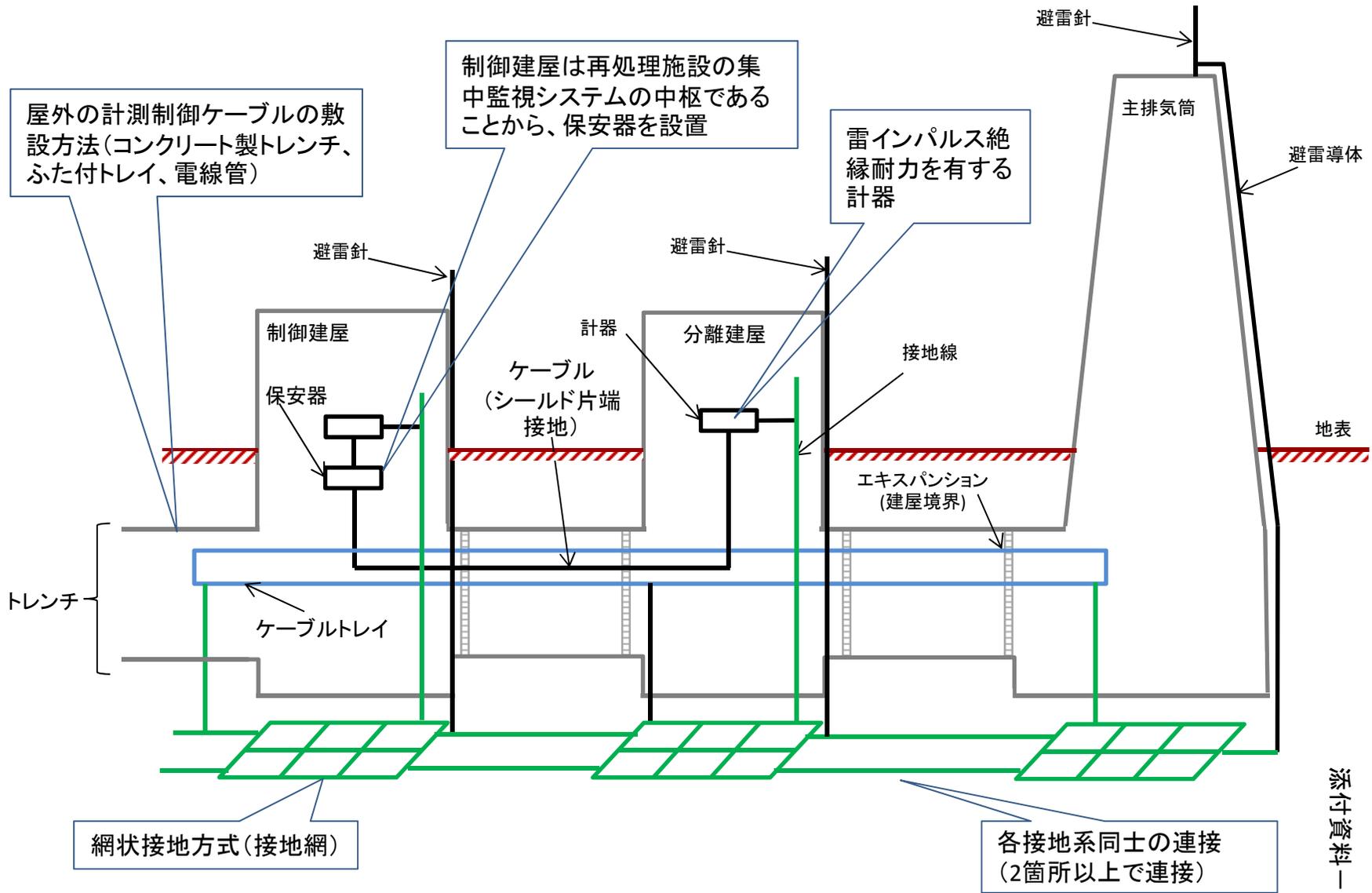
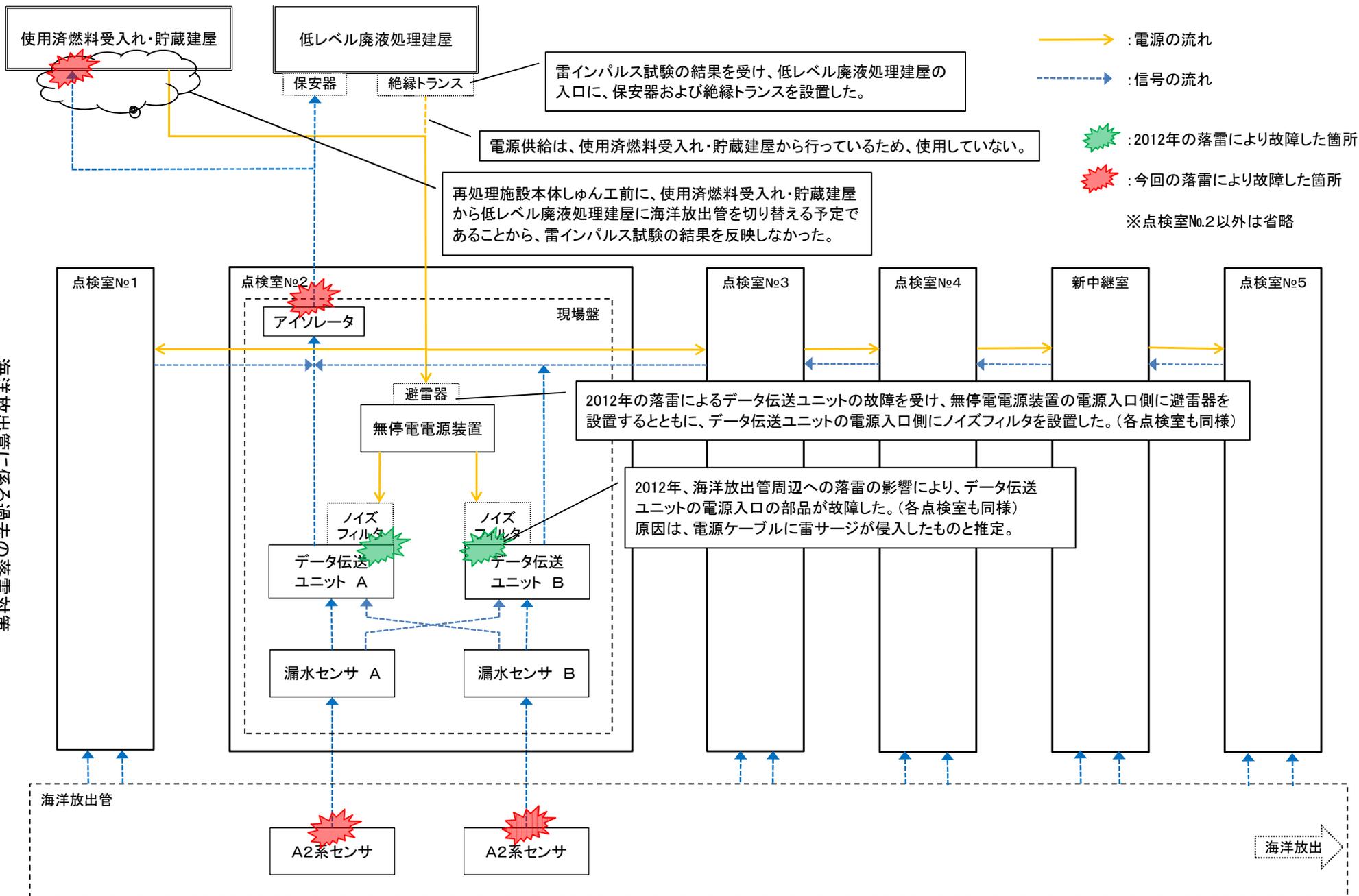
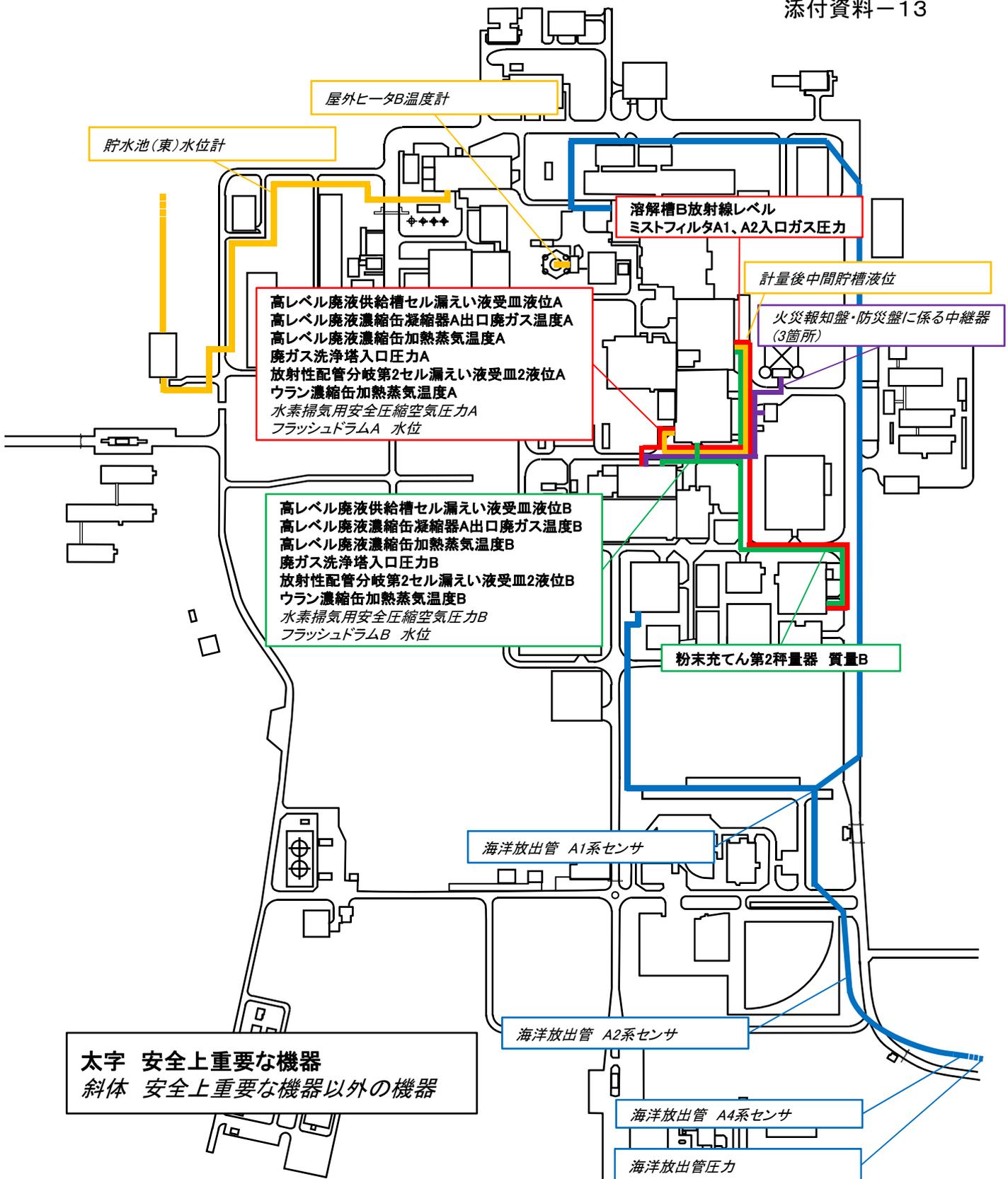


図 10-4 粉末充てん第2秤量器 質量Bの故障状況

再処理施設の耐雷設計

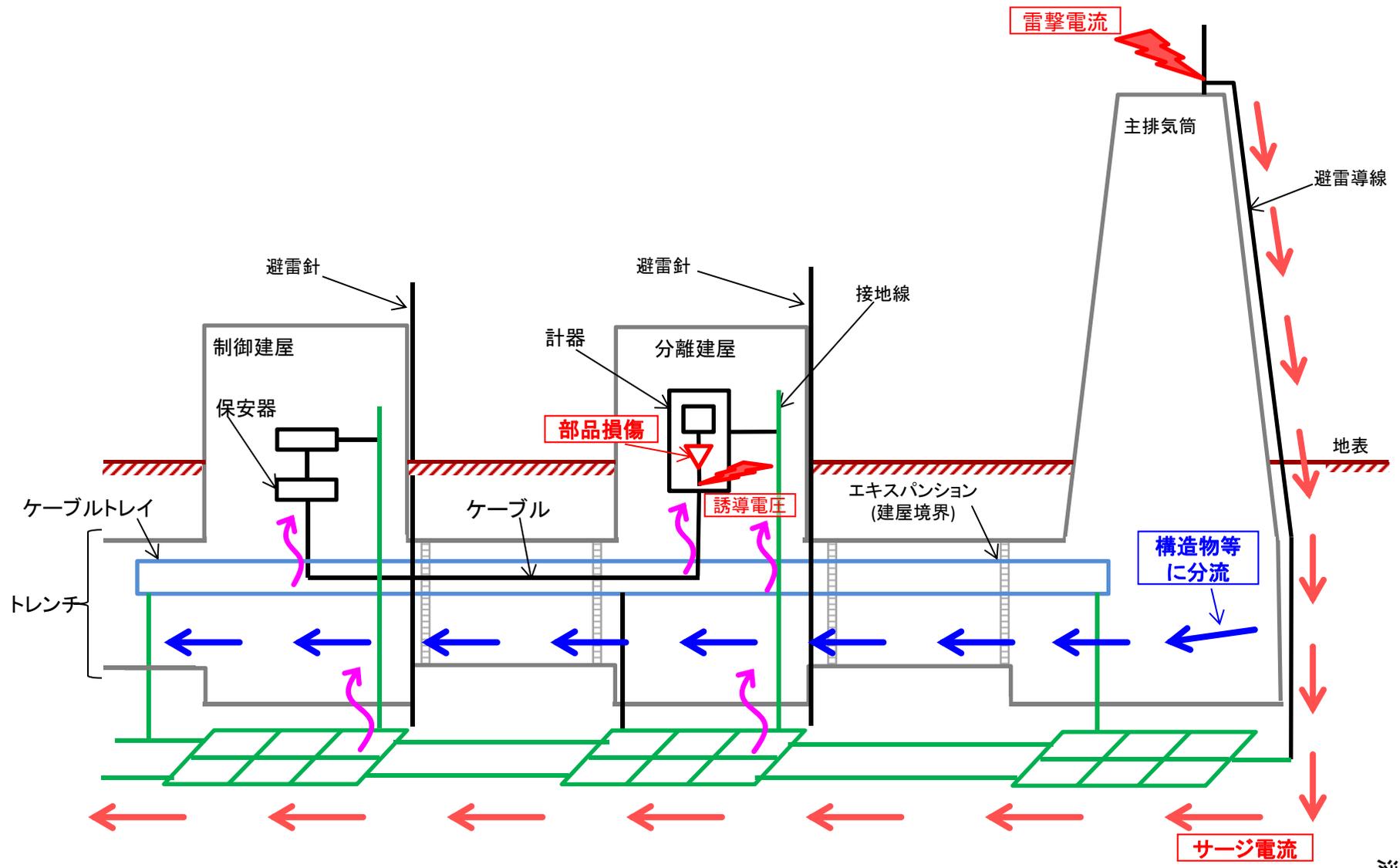






故障が確認された機器に係るケーブル等の配置

主排気筒への落雷の雷撃電流の流れ



- 前処理建屋の信号変換器についても、今回の調査において、出力部分と入力部分の間に絶縁機能が無いことが確認されており、保安器を設置することにより雷サージを想定しても機能維持を図ることは可能であるが、万一雷サージによって今回と同様な故障が発生した場合に入力側への影響を防ぐことを目的として、アイソレータ機能を有する信号変換器のタイプに変更する

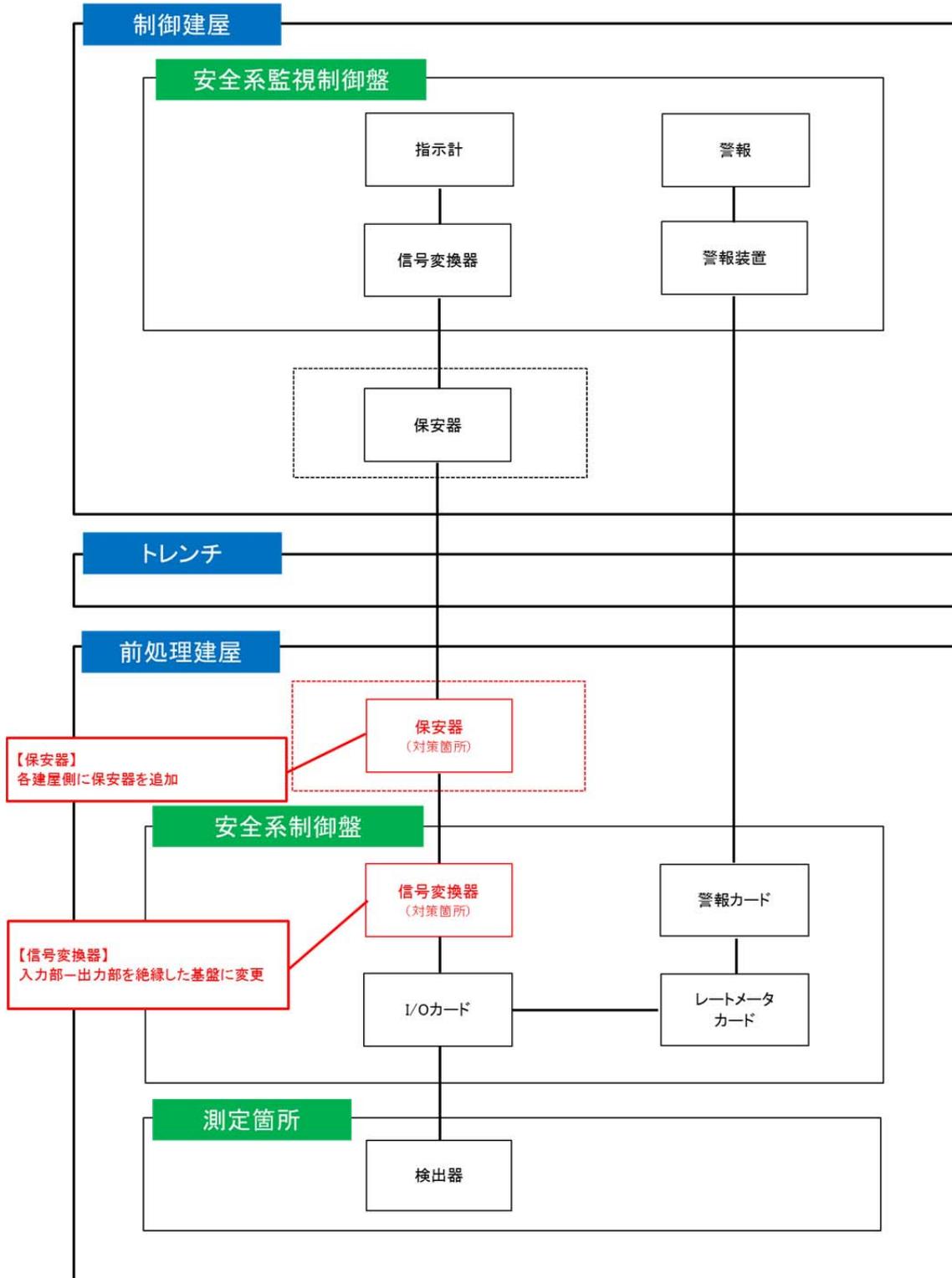


図 1 5 - 2 前処理建屋に対する対策

- ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において今回故障した機器は、海外製で、故障した部位単独の交換が実施できなかったためにユニット全体の交換を行ったことから、今後の補修の効率化を考慮し、国内製のアイソレータを追加設置する

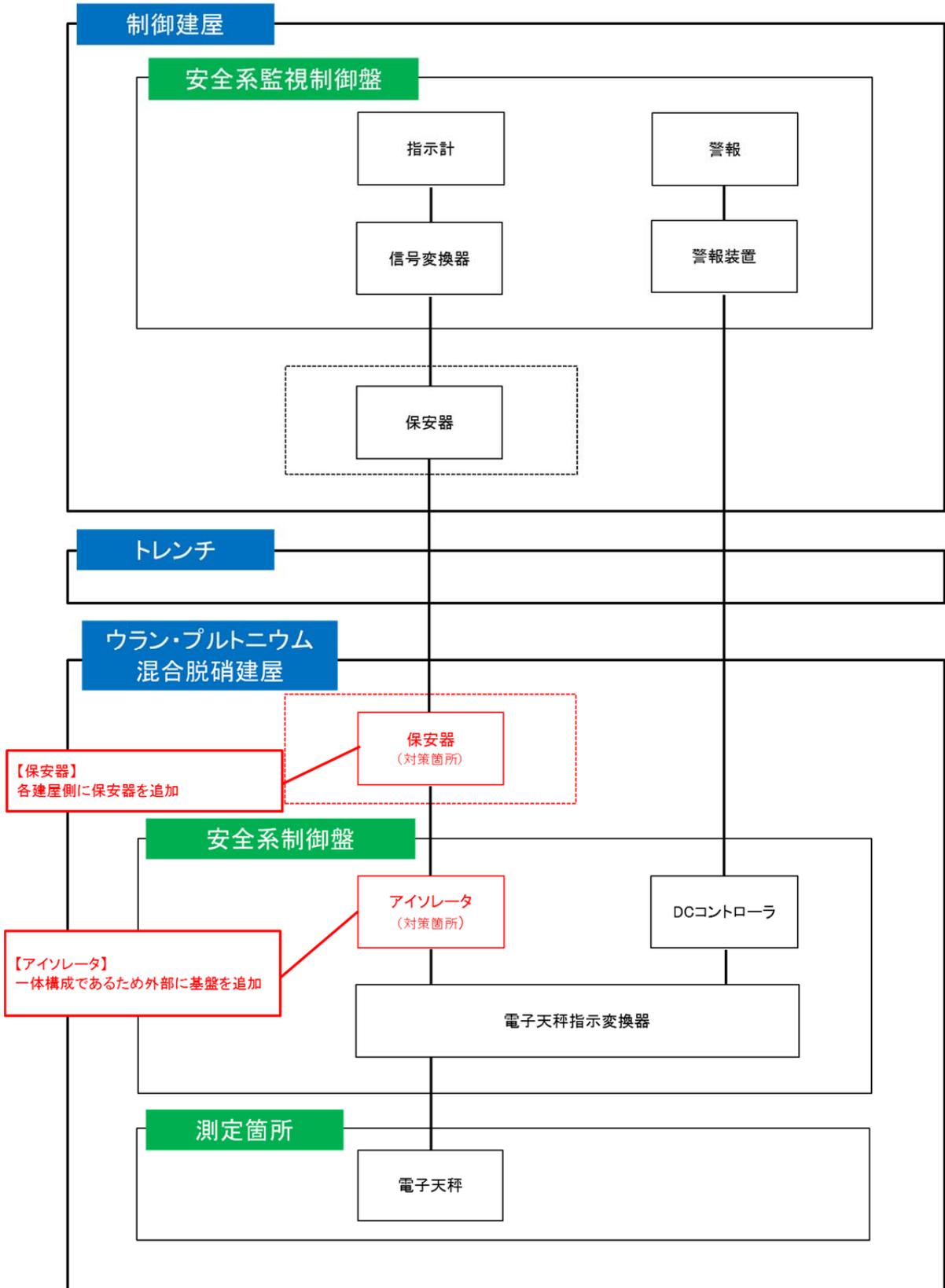


図 15-3 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に対する対策

施設が運転状態にあった場合（適用される状態）における故障が確認された安全上重要な機器への対応

建屋	機器名称	当日の対応 (適用される状態であった設備に対する対応)	施設が運転状態であった場合の対応	安全上の問題の有無
前処理 建屋	溶解槽 B 放射線 レベル	—	健全側である溶解槽 A 放射線レベルにより運転継続。ただし、溶解槽 B 放射線レベルが 10 日以内に復旧できないと判断した場合は、使用済燃料のせん断・溶解を停止	警報、インターロック機能は健全であることから、放射性物質の過度の放出防止機能(ソースターム制限機能)が維持され安全を確保できる
	ミストフィルタ A1、A2 入口ガス 圧力 (※1)	—	他のパラメータからフィルタの健全性を判断	警報機能は健全であり、フィルタの健全性も確認できることから、閉じ込め機能が維持され安全を確保できる
分離 建屋	高レベル廃液供給槽セル漏えい 液受皿液位 A	事象発生前後で対象貯槽の液位に変動がないこと、対象とする液移送を実施していないこと及び事象発生前後でセル内漏えい検知モニタの指示値に異常のないことを確認。また、復旧までの間は対象とする液移送を禁止し、操作員による監視を強化	高レベル廃液濃縮缶への抽出廃液等の供給を停止するとともに、高レベル廃液濃縮工程を停止する措置を開始し、保安上必要な場合を除き対象とする液移送を禁止する。また、セル内漏えい検知モニタの指示値に異常のないことなど、復旧までの間は操作員による監視を強化	警報発報により故障の判断を行い、速やかに左記の措置をとることが可能。仮に警報発報がなく、故障の判断に時間がかかっても、落雷起因の漏えいの可能性はないことから、閉じ込め機能が維持され安全を確保できる
	高レベル廃液供給槽セル漏えい 液受皿液位 B			
	廃ガス洗浄塔入口 圧力 A	廃ガス洗浄塔出口圧力計の指示値及び排風機入口圧力計の指示値により負圧維持を確認。廃ガス洗浄塔の運転状態を保守モードへ移行。また、復旧までの間は、保守モードを継続し、操作員による監視を強化	分離施設における使用済燃料の再処理を停止する措置を開始する (※2)。また、廃ガス洗浄塔の運転状態を保守モードへ移行し、復旧までの間は操作員による監視を強化	圧力計の指示値より故障の判断を行い、速やかに左記の措置をとることが可能。仮に、故障の判断に時間がかかっても、落雷起因により排風機が 2 台とも故障する可能性は少ないことから、閉じ込め機能が維持され安全を確保できる
	廃ガス洗浄塔入口 圧力 B			

※1：前処理建屋「ミストフィルタ C1、C2 入口ガス圧力 (1)」を含む。

※2：分離施設における使用済燃料の再処理の停止；分離設備および分配設備における Pu/FP フラッシュアウトの終了とする（それに伴いウラン溶液および高レベル廃液の濃縮、第1 酸回収の濃縮・精留（加熱）も終了する。ただし、高レベル廃液の濃縮、第1 酸回収の濃縮・精留（加熱）の停止については保安上必要な場合を除く）。

建 屋	機器名称	当日の対応 (適用される状態であつた設備に対する対応)	施設が運転状態であった場合の対応	安全上の問題の有無
分離 建屋	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 A (※3)	—	高レベル廃液濃縮缶運転中は、操作員が常時監視しており、他の建屋の警報の発報や高レベル廃液濃縮缶の蒸気発生器圧力の指示値の異常の有無、他の温度指示値との不整合などを操作員が確認し、速やかに高レベル廃液濃縮缶の加熱を停止	高レベル廃液濃縮缶の加熱蒸気供給および加熱蒸気発生器への一次蒸気供給停止のインターロックが作動する事態であったものの、結果として安全保護系の安全保護機能は喪失した。 速やかに左記の高レベル濃縮缶の加熱を停止する措置をとることができることから、安全を確保できる
	高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 B (※3)			
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 A			
	高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 B			
	放射性配管分岐第 2 セル漏えい液受皿 2 液位 A	—	溶解液、抽出廃液及び高レベル廃液濃縮廃液の移送を停止し、当該液の移送を必要とする工程を停止する措置を開始し、保安上必要な場合を除き対象とする液移送を禁止する。 また、セル内漏えい検知モニタの指示値に異常のないことなど、復旧までの間は操作員による監視を強化	警報発報により故障の判断を行い、速やかに左記の措置をとることが可能。 仮に警報発報がなく、故障の判断に時間がかかっても、落雷起因の漏えいの可能性はないことから、閉じ込め機能が維持され安全を確保できる
	放射性配管分岐第 2 セル漏えい液受皿 2 液位 B			
ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 A	—	ウラン濃縮缶運転中は、操作員が常時監視しており、他の建屋の警報の発報やウラン濃縮缶の蒸気発生器圧力の異常の有無、他の温度指示値との不整合などを操作員が確認し、速やかにウラン濃縮缶の加熱を停止	速やかに左記のウラン濃縮缶の加熱を停止する措置をとることができることから、安全を確保できる	
				ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 B
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	粉末充てん第 2 秤量器 質量 B	—	ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末缶を払出す場合は、重量指示を監視しており、指示値が異なる場合は、プルトニウムを装荷した粉末缶の払出しを禁止する。	インターロック機能は健全であることから、安全に係るプロセス量等の維持機能が維持され安全を確保できる

※3：分離建屋「高レベル廃液濃縮缶長期予備の高レベル廃液濃縮缶凝縮器 B 出口廃ガス温度 A」を含む。

用語集

【ディストリビュータ】

伝送器電源機能付信号変換器



【保安器】

電源線や通信線において、雷サージなどによって印加された異常電圧から、機器を保護するための装置である。

保安器は、計器の配線等に落雷に伴い異常な電圧が配線に加わった場合、機器側へ流れる恐れのある異常電流を接地系統に流す。通常の通信に使用される電流、電圧はそのまま通す。



【保安規定に定める適用される状態】

使用済燃料の再処理を行う等の核燃料物質を取り扱う状態において安全上重要な機器の機能が要求されることから、予め定めた設備状態においてその機能が適用される。

例)

- セルの漏えい液受血液位計：セル内に設置されている貯槽内において高レベル廃液等を取り扱っているときにその機能が適用される。
- 溶解槽 B 放射線レベル：溶解槽において使用済燃料を溶解処理しているときにその機能が適用される。

【直撃雷】

電気設備・人体、その他の物体などに雷撃が直撃すること。

【間接雷】

雷撃の直撃ではなく、近くに落雷した際に拡散するエネルギーによって、電磁界が大きく乱されることにより発生する。誘導雷によって、近くに敷設されている電線やケーブル、電気機器に対して誘導電流が発生し、異常電圧によって機器の焼損・破損を及ぼす。

【雷サージ】

雷によって電力線や通信ケーブルなどに瞬間的に高い電圧が発生し、大きな電流が流れる現象。落雷による直撃雷サージ、稲妻や雷雲の接近が間接的に誘導電流を引き起こす誘導雷サージ、地面からアースを經由して流れ込む逆流雷サージに分類される。

【避雷器】

発電、変電、送電、配電系統の電力機器や電力の供給を受ける機器、通信機器などを、雷などにより生じる過渡的な異常高電圧から保護するための機器。雷による衝撃などの異常電圧がかかると、避雷器は放電を開始し、異常電荷を大地に放電させる。



【絶縁変圧器】

一次巻線と二次巻線が絶縁されている変圧器のことで、一般の変圧器はすべて絶縁変圧器。

【雷撃距離】

落雷時、稲妻は少し進んでは 잠시停止、それから再び少し進むことを繰り返す。稲妻が地面や木などに落雷する直前の停止位置に達すると、落雷場所の地面や木などから、迎え放電が発生、これが結合して落雷となる。稲妻の上から来る長さと、迎え放電の和を雷撃距離と呼ぶ。

雷は周囲で最も高いものに落ちるといわれるのは、雷は落雷直前の稲妻停止位置を中心とし、雷撃距離を半径とする球内にある最も近いところに落ちるものであり、稲妻の最終停止位置と高いものとの距離が、雷撃距離以内になる確率が高いために、高いものに落ちる確率が高くなる。

【アイソレータ】

入力信号と出力信号の間を直流的に絶縁する機能を有するもの。アイソレータの設置により落雷の影響が出力側に発生したとしても入力側への影響を阻止する。

