

< 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)

平成27年10月15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	4
7. 原因調査	6
7. 1 故障が確認された機器の調査	6
7. 2 再処理施設の耐雷設計等	8
7. 3 事象発生当時の落雷の発生状況等の調査	12
7. 4 落雷による機器故障に至ったメカニズム	16
7. 5 推定原因	17
8. 推定原因に基づく対策	18
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	当該伝送システムの故障状況
添付資料－6	故障が確認された安全上重要な機器の故障状況
添付資料－7	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－8	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－9	再処理施設の耐雷設計
添付資料－10	海洋放出管に係る過去の落雷対策
添付資料－11	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－12	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－13	避雷針での落雷痕跡の調査結果
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
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、操作員による監視（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操作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、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についても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。

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－6に示す。

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－7 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

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皿液位計

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皿液位計の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。

さらに、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、上記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。

(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) 分離建屋における故障機器対象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、故障した機器が含

まれる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

7. 原因調査

7. 1 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-8 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雷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. 2 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－9）

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（2 kV：200 kA に相当）こととし、保安器等の措置は必要ないとした。なお、制御建屋については、再処理施設の集中監視システムの中核であることを踏まえ、万一の事態に備え保安器を設置している。

(2) 雷インパルス試験

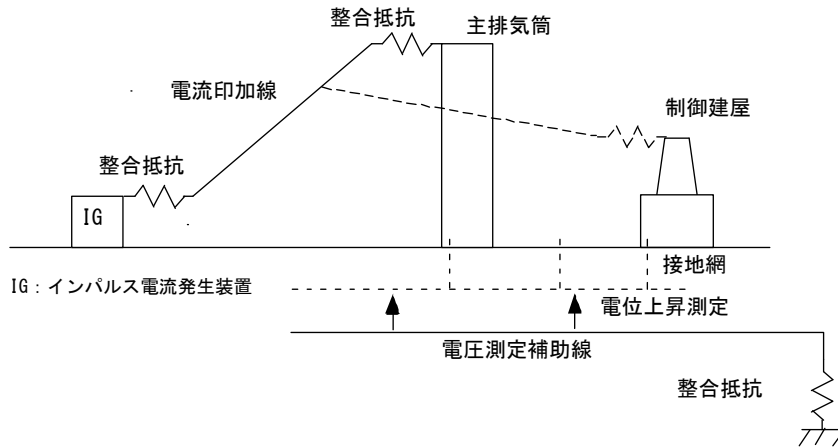
再処理施設では、耐雷設計の妥当性を確認するために雷インパルス試験を実施している。

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版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。

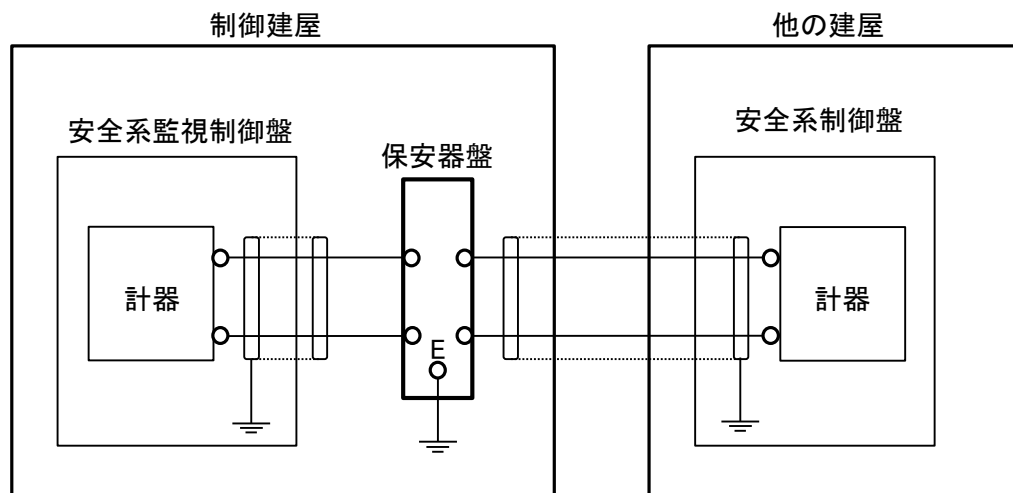
c. 試験結果を受けた改善策

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版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2012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-10参照)

(3) 落雷の影響範囲と設備構成の関係

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－1 1 参照)

7. 3 事象発生当時の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－1 2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500m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-13)

対象	調査状況	結果
主排気筒	<p>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。</p> 	<p>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)</p>

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12本に対して調査を行った。</p>    	<p data-bbox="1305 320 1489 448">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 1489 1462">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 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）

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

r：回転球体半径（雷撃距離）[m]

I：電流波高値[kA]

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. 5 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考えられる。

分離建屋から制御建屋に信号を伝送す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っていることから、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っ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されていれば、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

(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個数については、下表のとおりである。

設置する建屋	個数
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

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。

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。

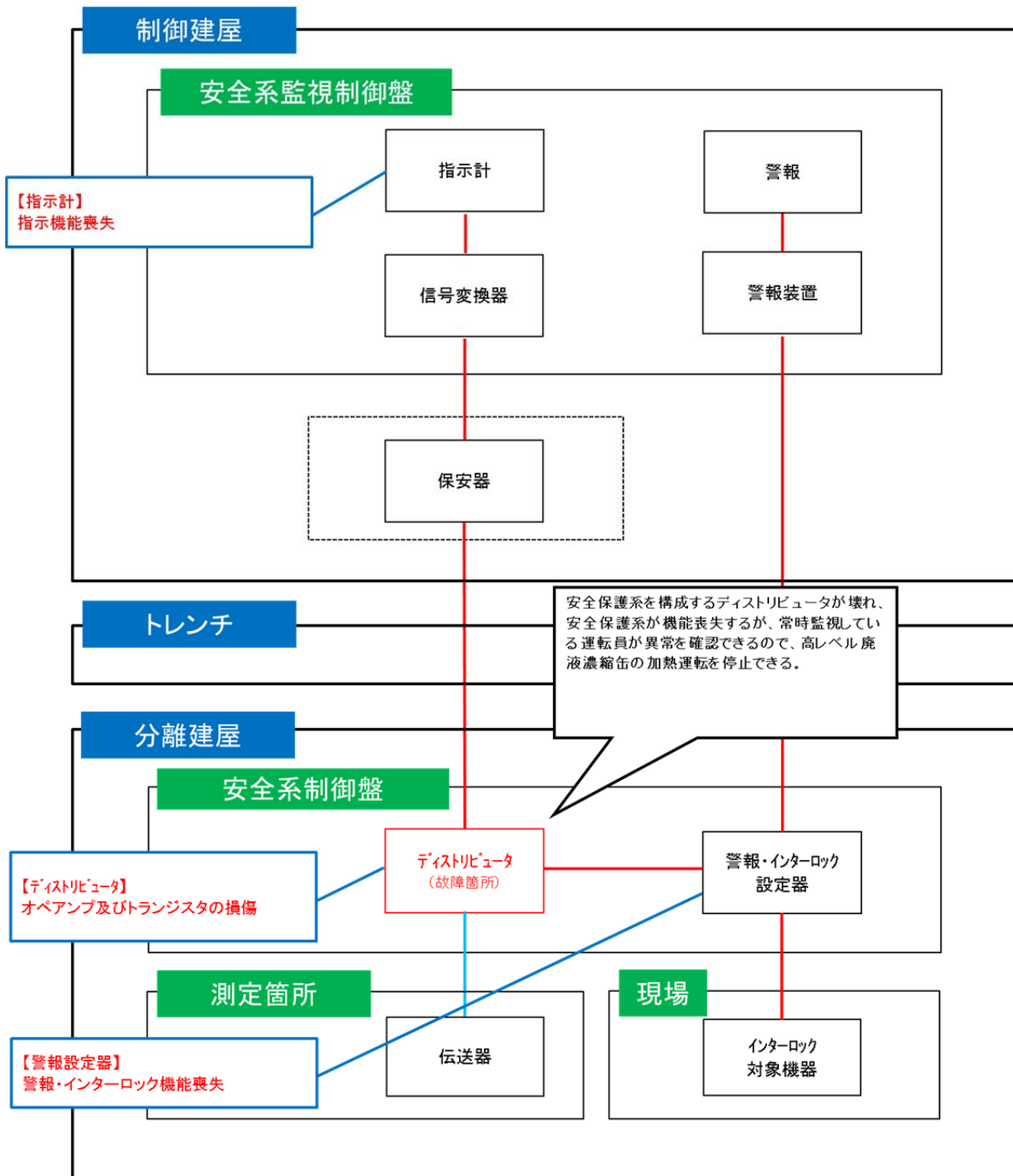
【今回の落雷により確認された事象】

- ・今回落雷により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、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）。（現状の設備構成を示した次図参照）

【現状の設備構成で上記事象に対して安全な状態を確保するための手段】

- ・高レベル廃液濃縮缶の運転中は、操作員が常時監視しており、今回の事象のように他建屋の警報の発報や、高レベル廃液濃縮缶の温度指示値の異常、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から、操作員が速やかに高レベル廃液濃縮缶の加熱を停止できる。(現状の設備構成を示した次図参照)

⇒上述のとおり、設備対応として、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操作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）



【高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度計 A/B の概要】

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」の故障のように、保安器が既に設置されているものの、その仕様を超える雷サージにより計器が故障したことが推定されることから、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を考慮し、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健全な状態に復旧できるよう、ディストリビュータ等の予備品を確保する。

（2）運転管理における対応

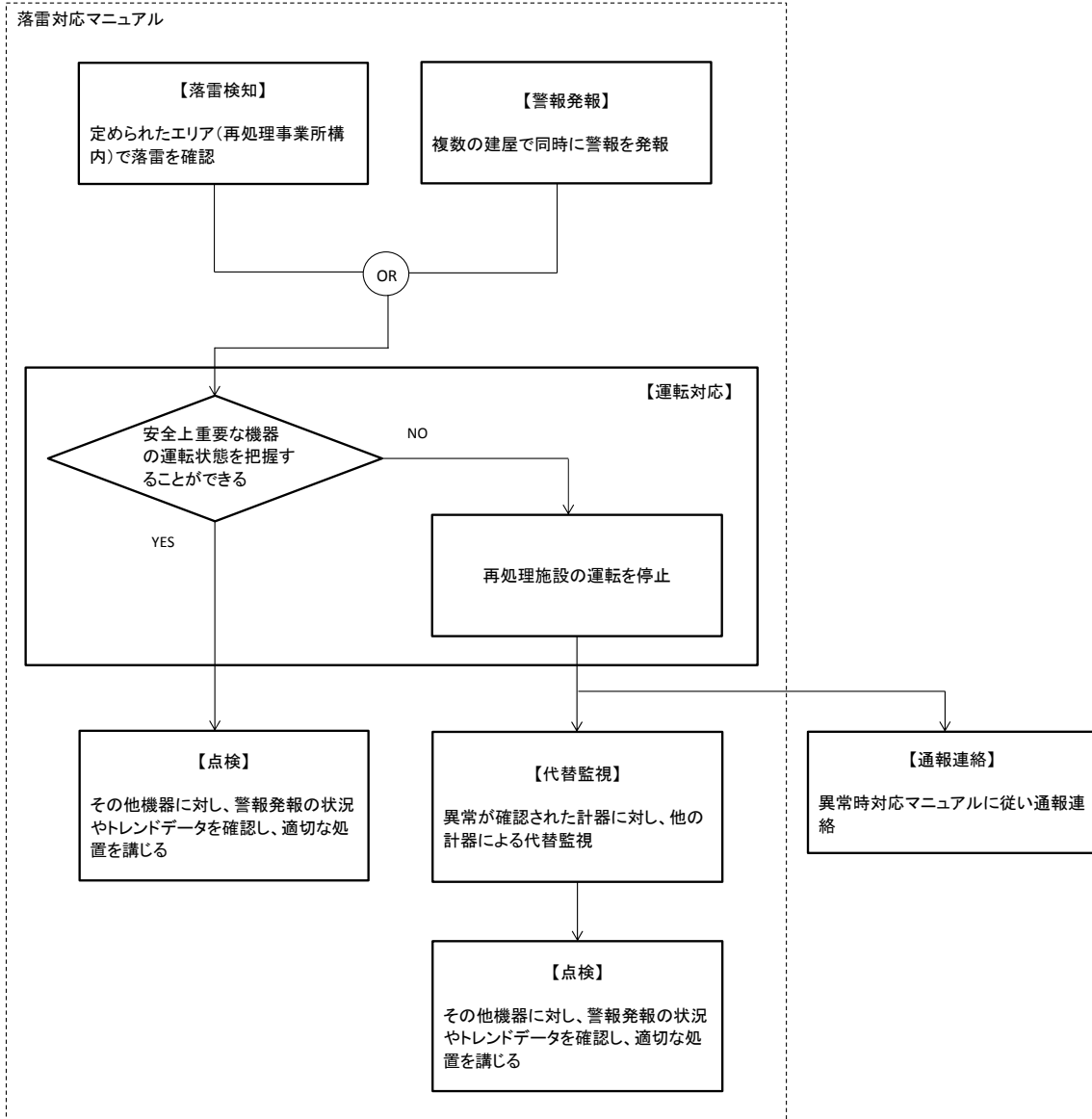
今回の事象発生時、複数の建屋において同時に警報の発報が確認されたことから、落雷が確認されていない状態ではあったが、落雷による可能性があるかと判断し、落雷時の対応手順に従い警報や指示値の異常等の確認をし、その結果として安全上重要な機器の同時故障を確認している。

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。

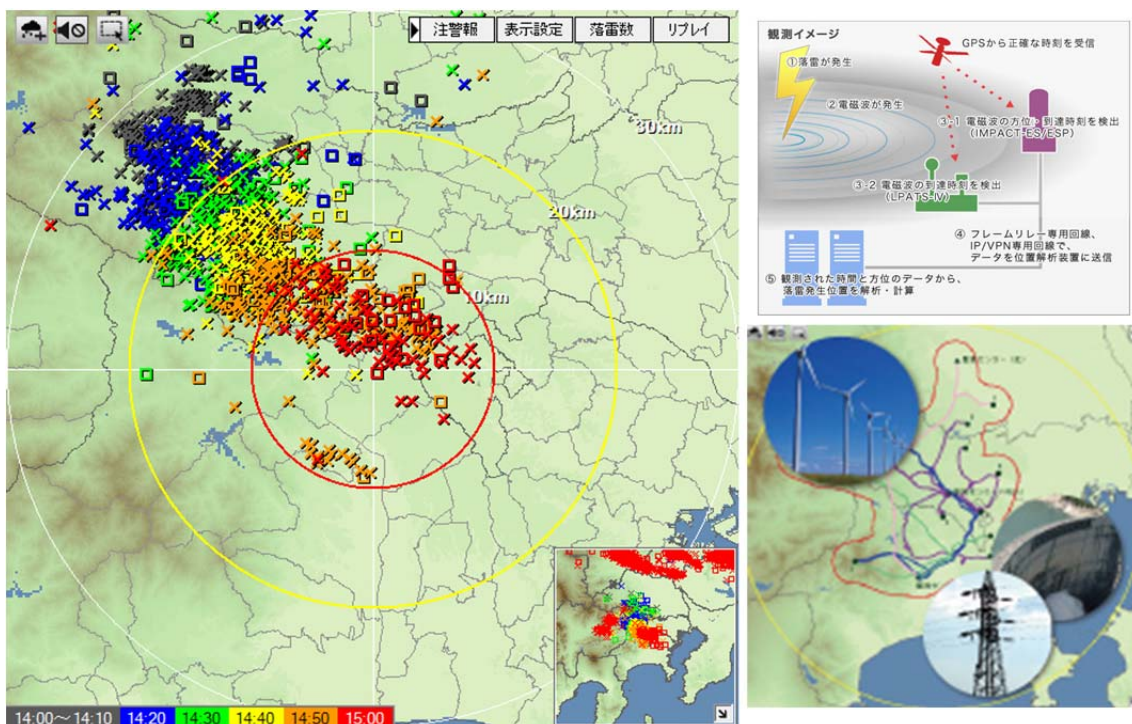
（1）に示した設備対応を今後行う計画であるが、設備対応を行うまでの間及び設備対応を行った後に万一その設備対応を超える事象が発生した場合を考慮し、以下のとおり手順等の整備を行う。

a. 設備対応完了までの間

- 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。



【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】

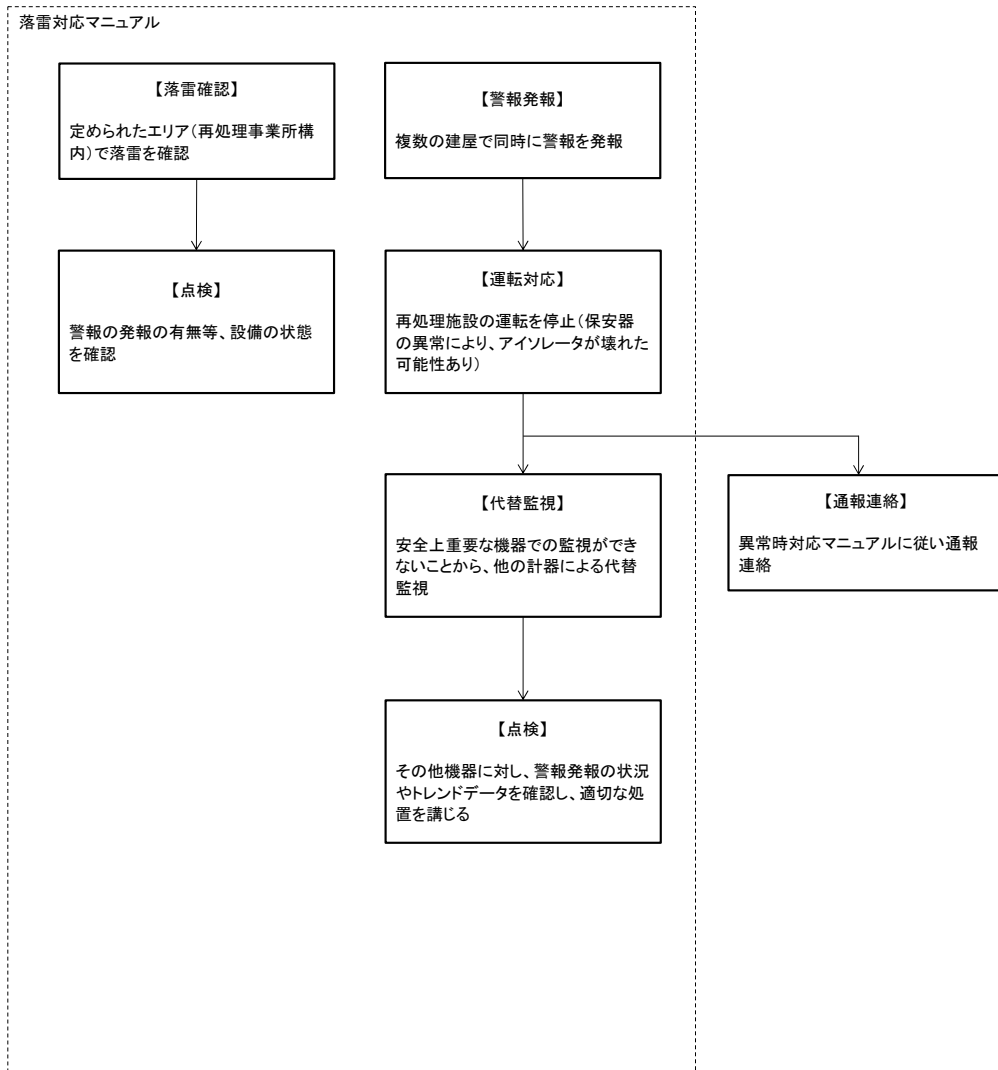
【Lightning Scope+による落雷確認】

b. 設備対応完了以降

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

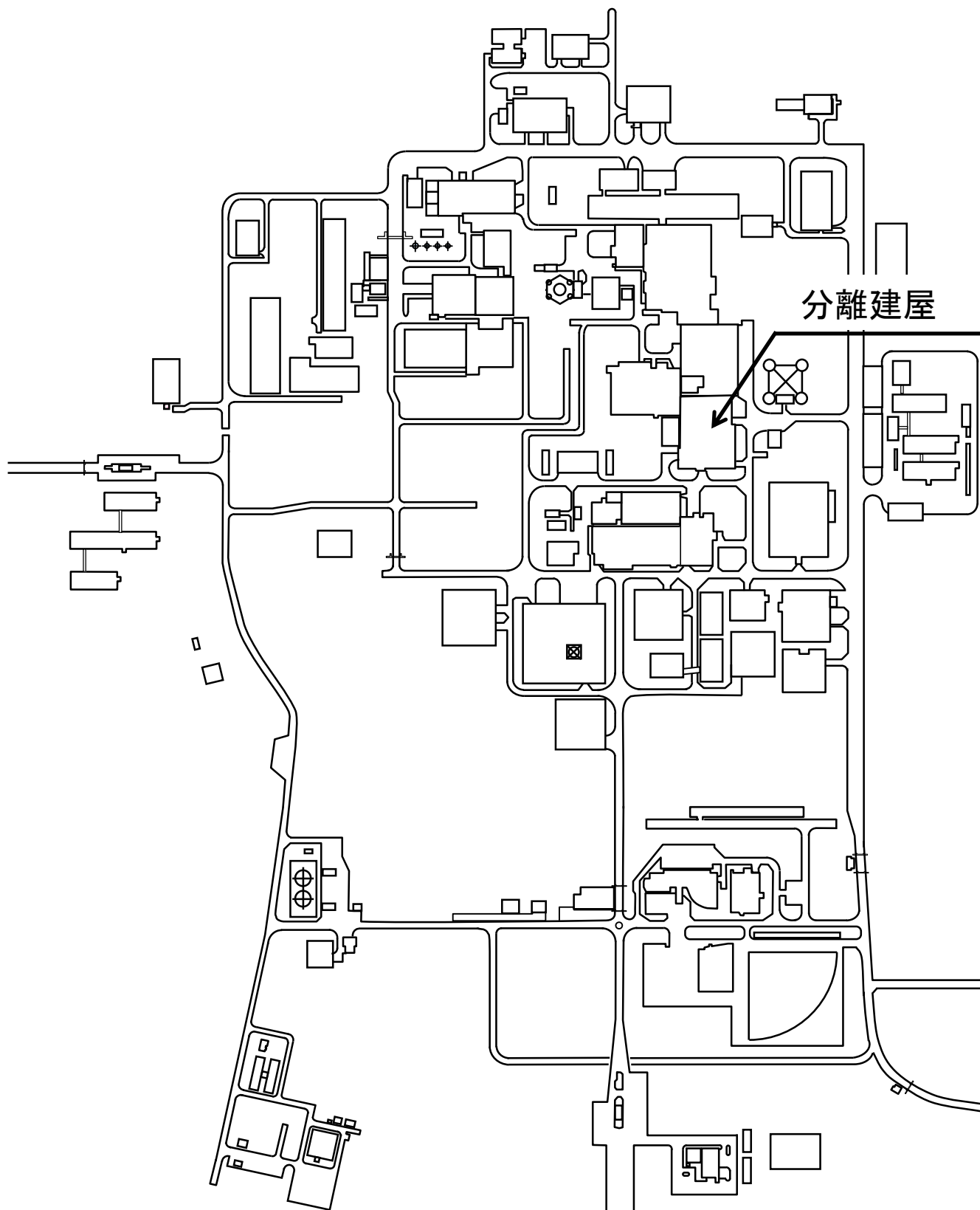
られる指示:光ケーブルで取り合っているため落雷の影響を受ける可能性は低い)の指示値の異常の有無を確認し、落雷により保安器の異常が発生している可能性が考えられる場合には、再処理の運転を停止する措置を講ずる手順とする。



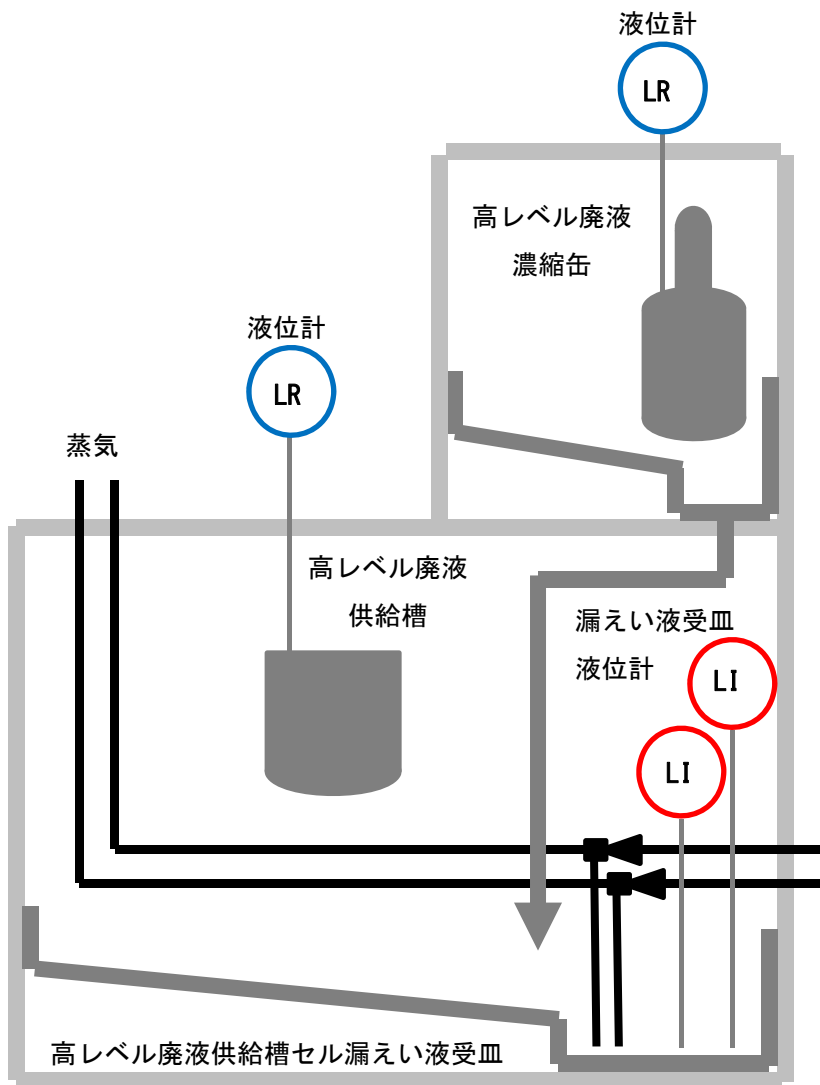
【落雷により計器が故障した場合の対応（設備対応完了以降）】

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。

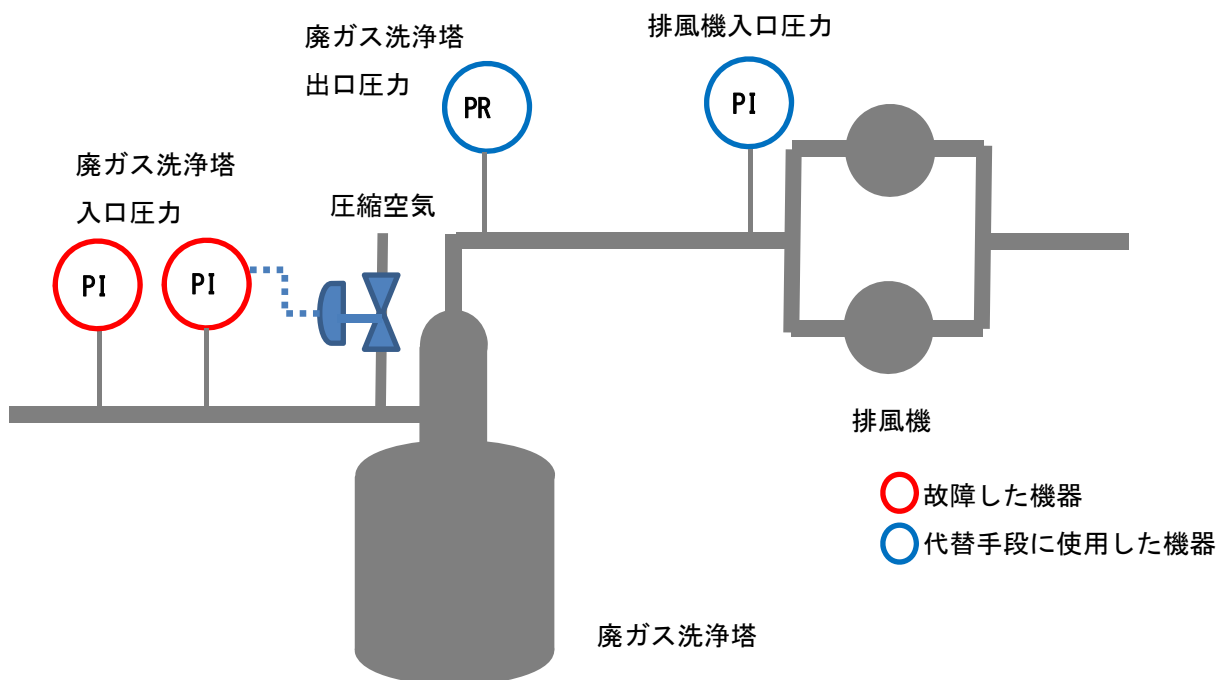
以上



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



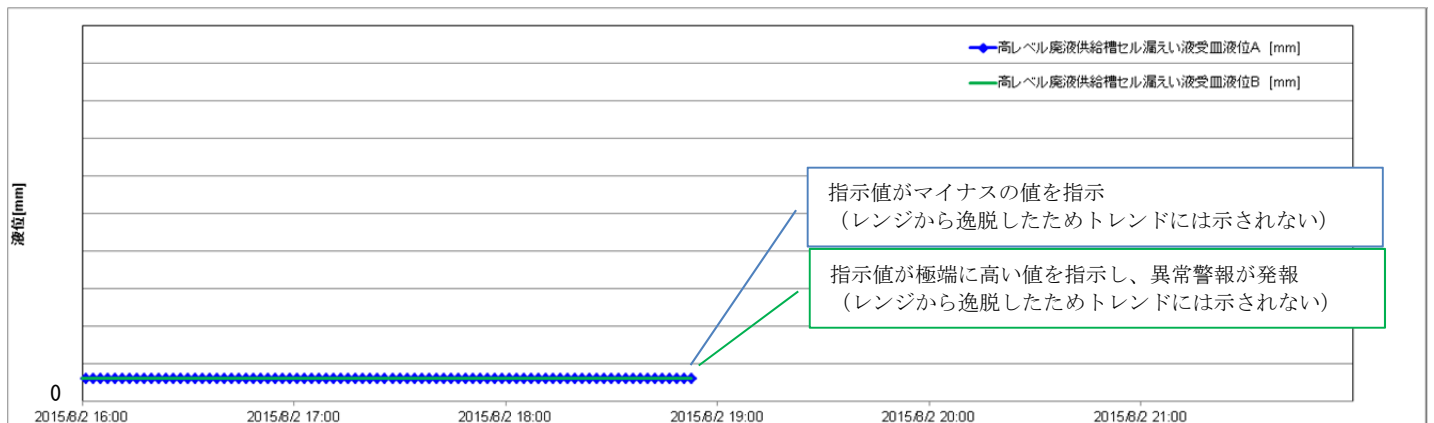
分離建屋塔槽類廃ガス処理設備の概要図

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

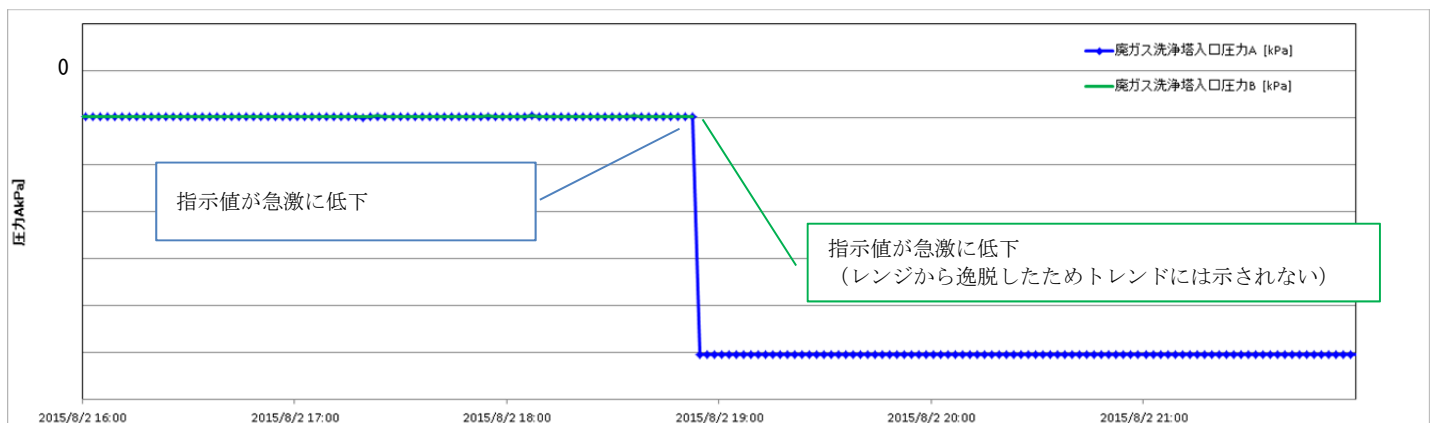
事象発生当時のトレンドデータ

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血液位



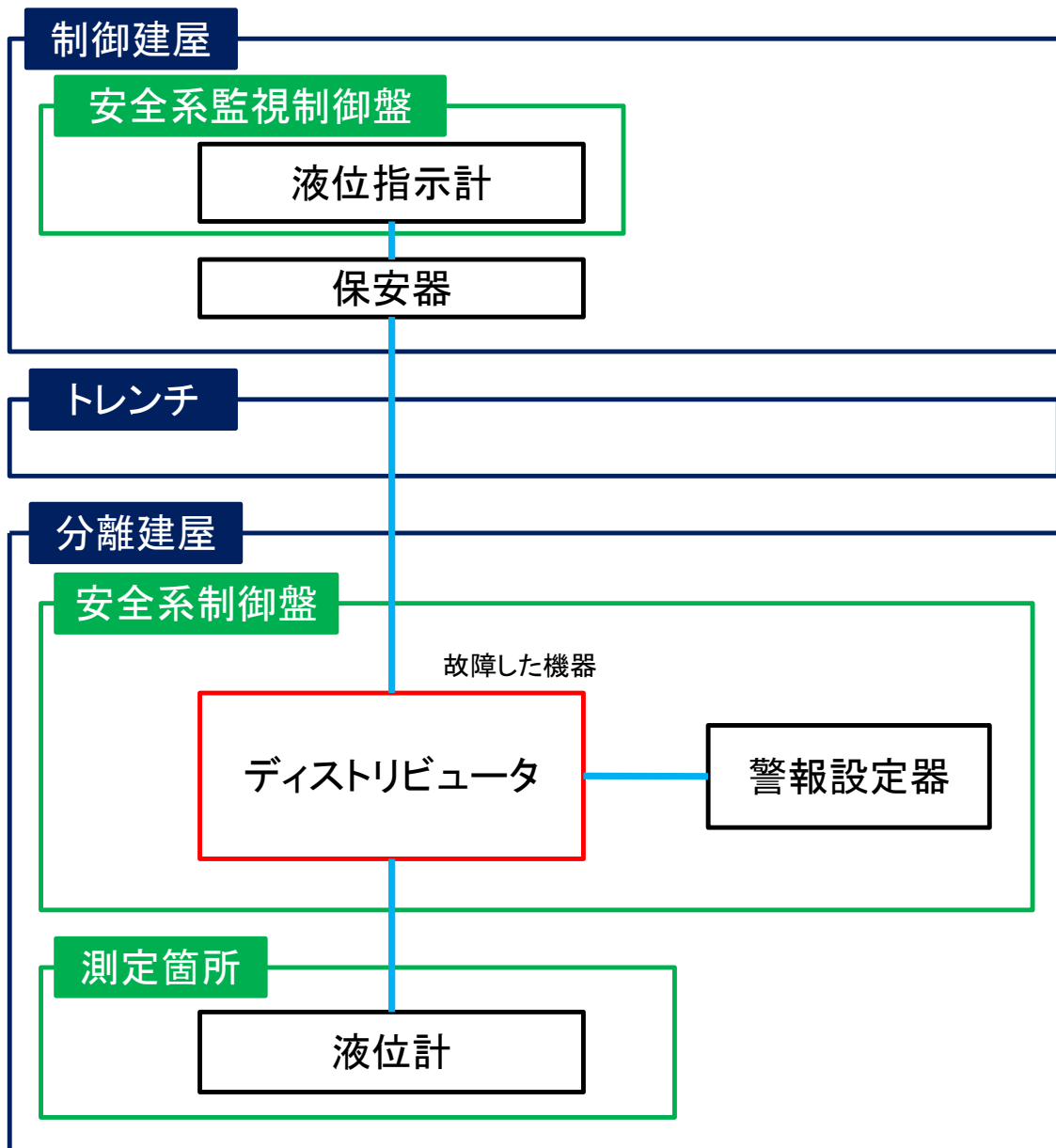
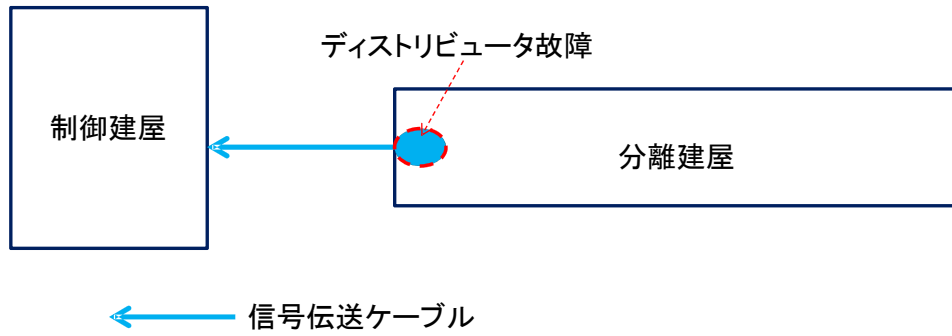
② 廃ガス洗浄塔入口圧力



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 6－1）
	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 6－2）
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 6－3）
	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 6－3）
	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 6－3）
	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 6－3）
	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 6－3）
	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 6－3）
	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 6－3）
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 6－4）

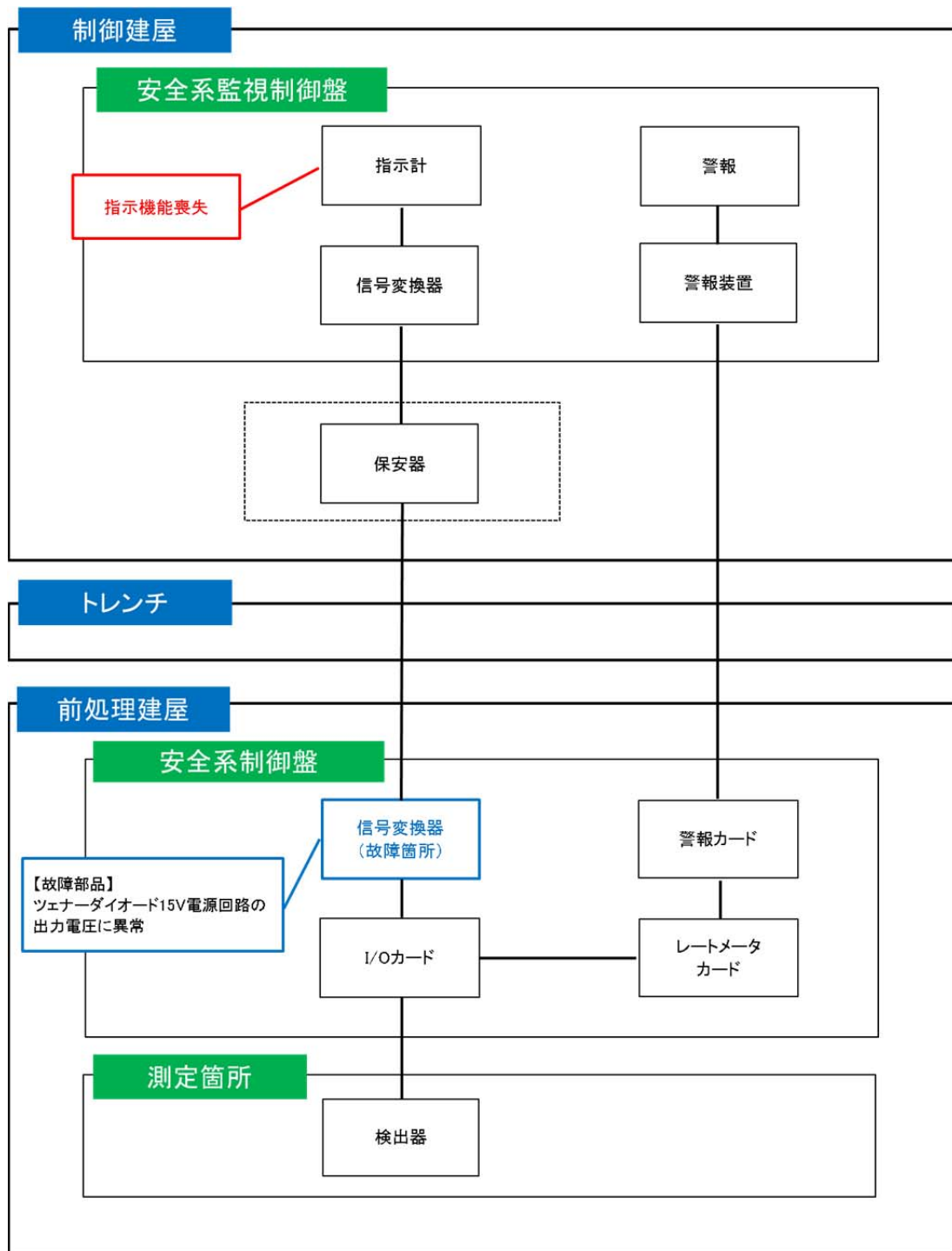


図6-1 溶解槽B放射線レベルの故障状況

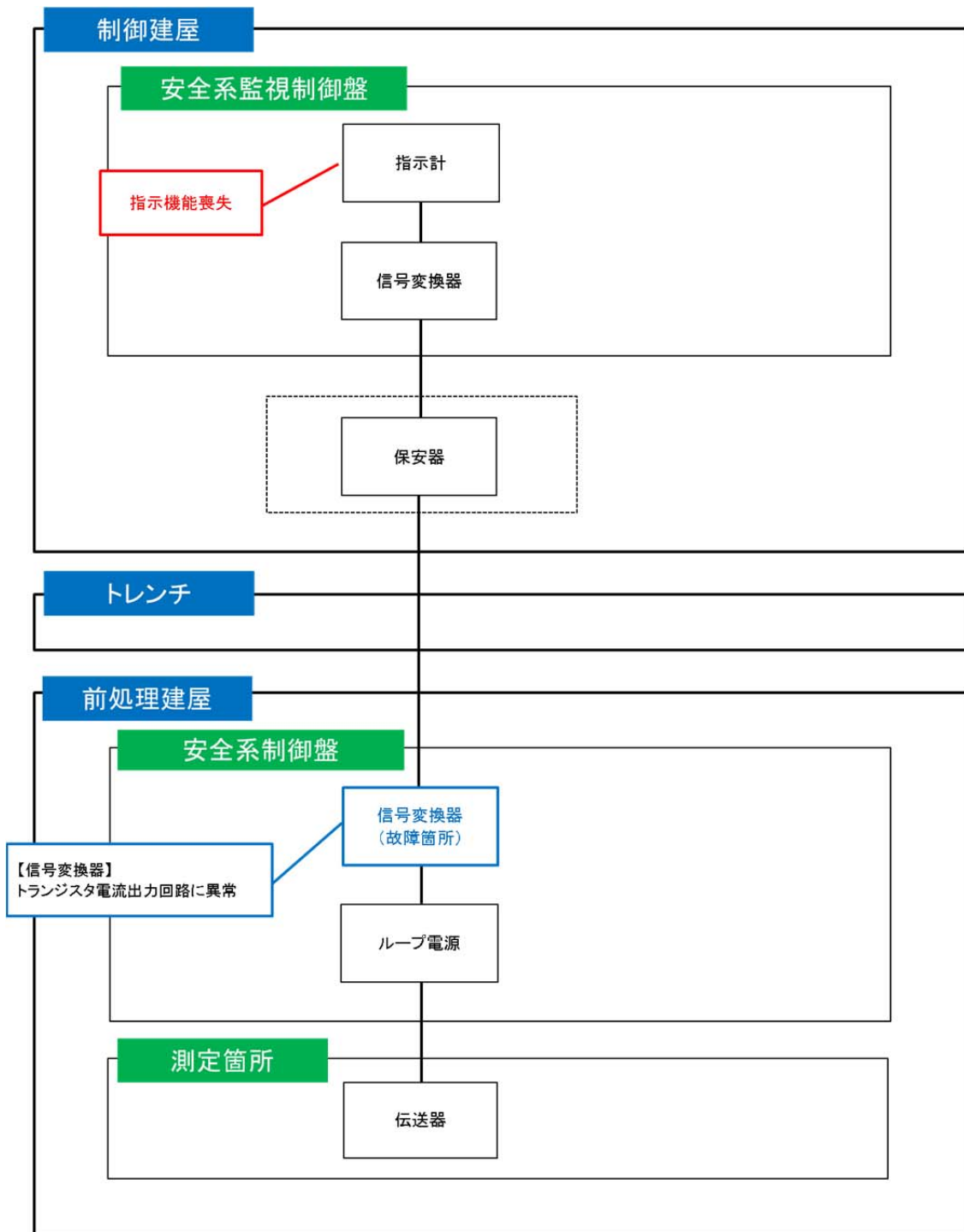


図 6 - 2 ミストフィルタ A1、A2 入口ガス圧力の故障状況

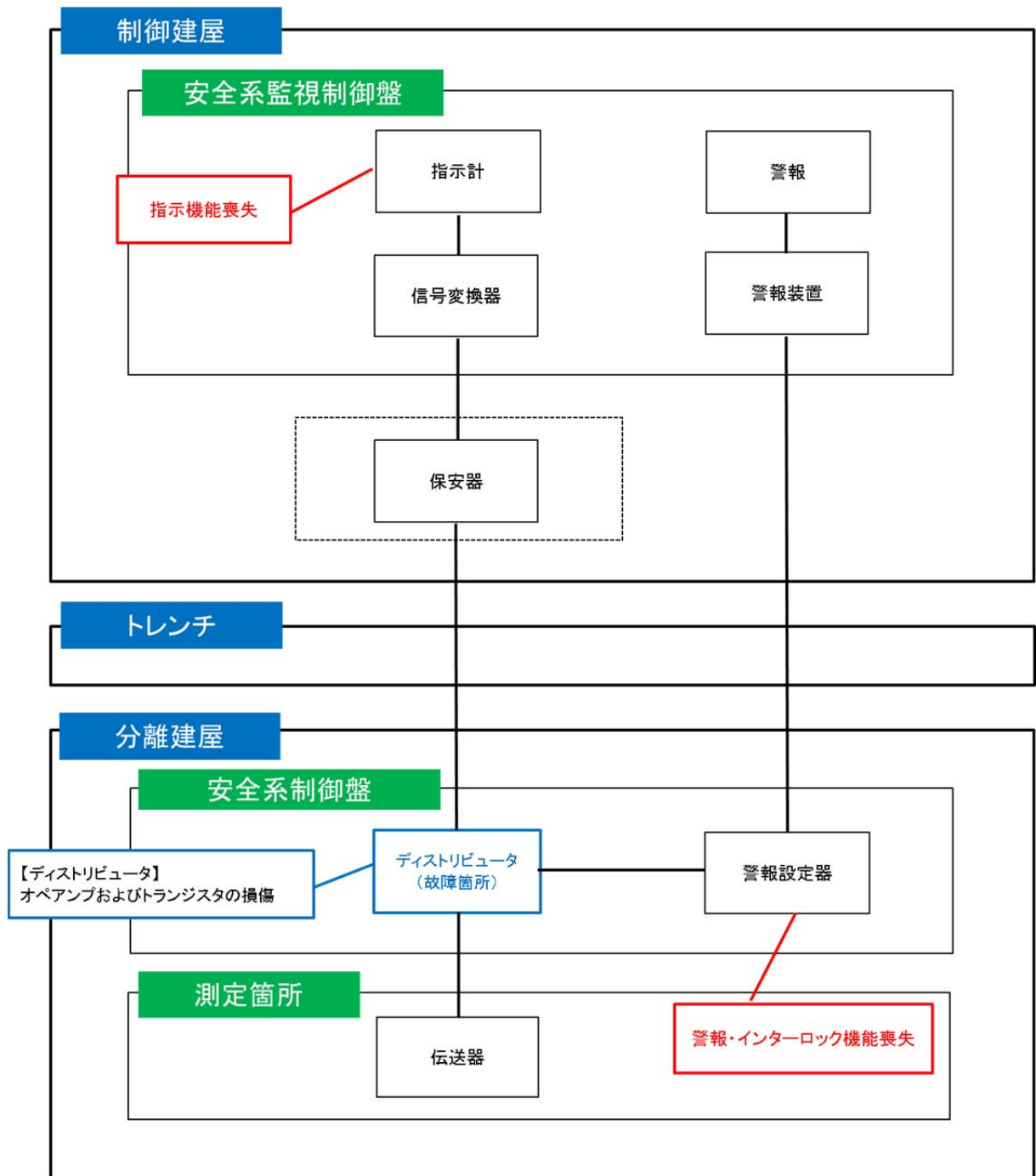


図 6 - 3 分離建屋で故障が確認された安全上重要な機器の故障状況

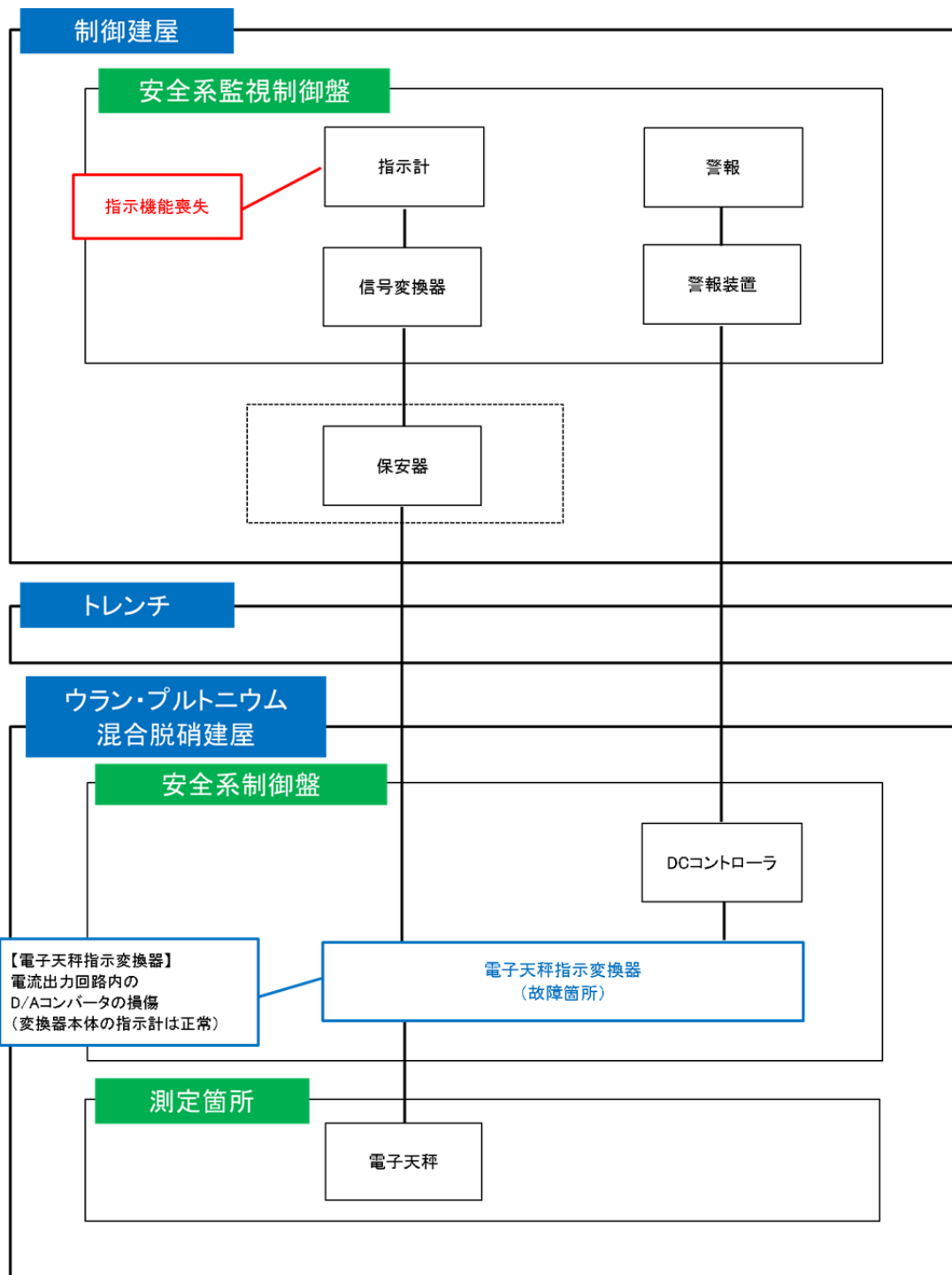


図6-4 粉末充てん第2秤量器 質量Bの故障状況

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	(故障の状況) 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 7-1) (故障時の代替措置) 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。
分離建屋	水素掃気用安全 圧縮空気圧力 A	(故障の状況) OIS の指示値 (圧力) が通常状態と異なるため、故障と判断 (図 7-2)
	水素掃気用安全 圧縮空気圧力 B	(故障時の代替措置) 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。
	フラッシュドラム A 水位	(故障の状況) OIS の指示値 (水位) が通常状態と異なるため、故障と判断 (図 7-2)
	フラッシュドラム B 水位	(故障時の代替措置) 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。
海洋 放出管	海洋放出管 A1 系センサ	(故障の状況) 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 7-3) A1 : 片系故障、A2:両系故障、A4:片系故障 (故障時の代替措置等) 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。
	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	(故障の状況) 外観目視でセンサの異常を確認したため、故障と判断 (図 7-4)
北換気筒	屋外ヒータ B 温度 計	(故障の状況) 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 7-5)
淡水取水 設備	貯水池 (東) 水位計	(故障の状況) 指示値が振り切れた状態のため、故障と判断 (図 7-6) (故障時の代替措置) 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。

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7-7) (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。

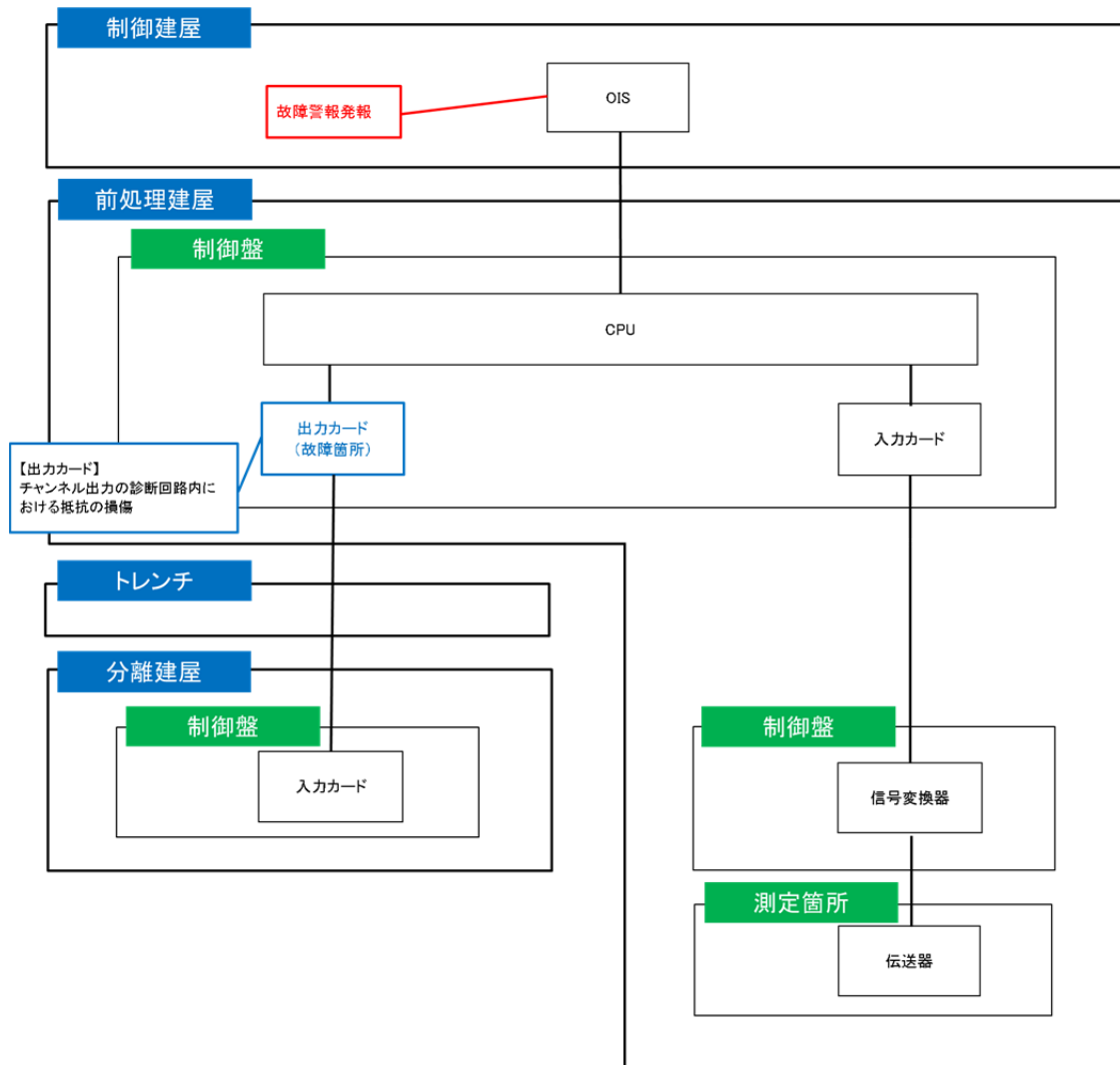


図 7 - 1 計量後中間貯槽液位の故障状況

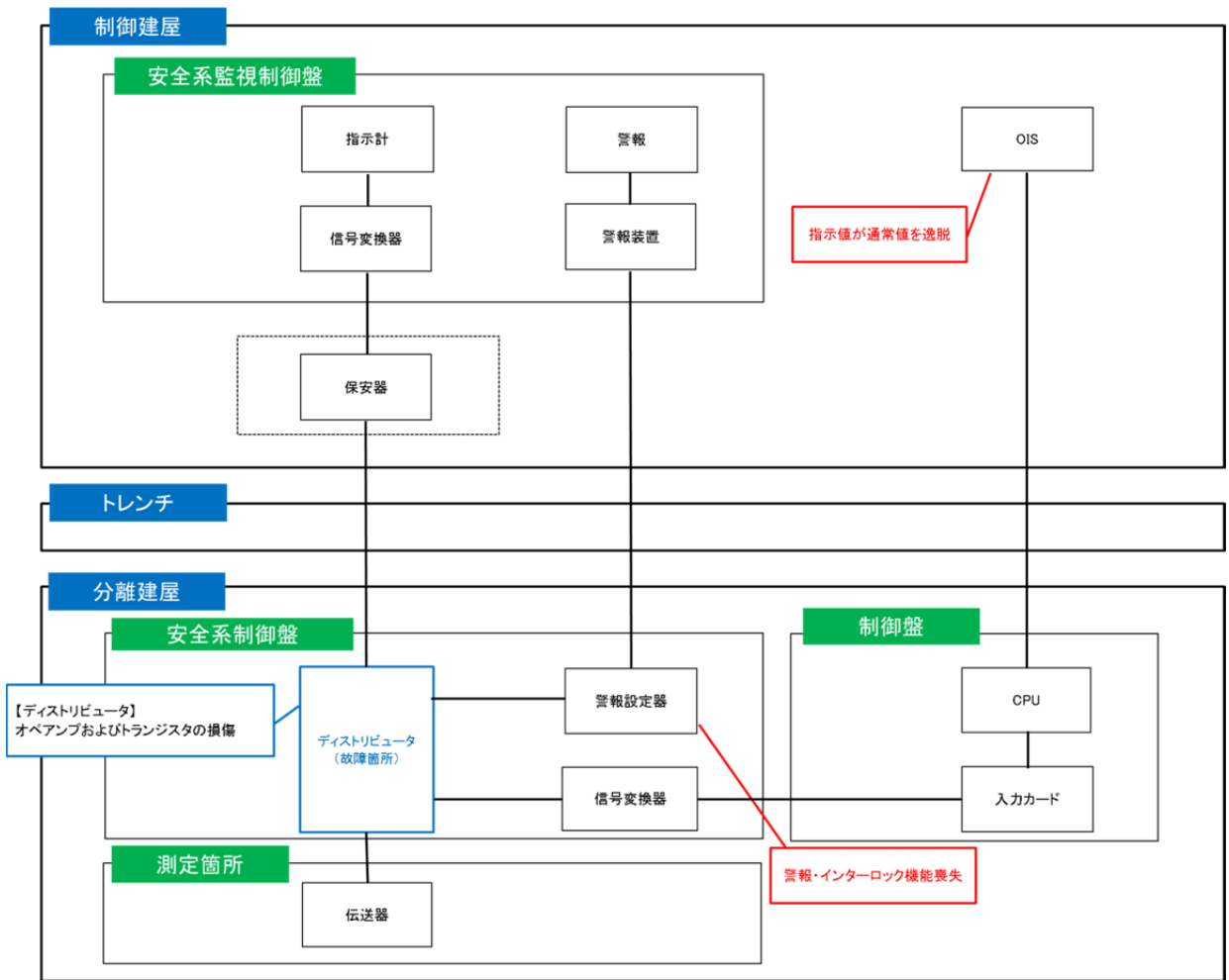


図 7 - 2 分離建屋で故障が確認された
安全上重要な機器以外の機器の故障状況

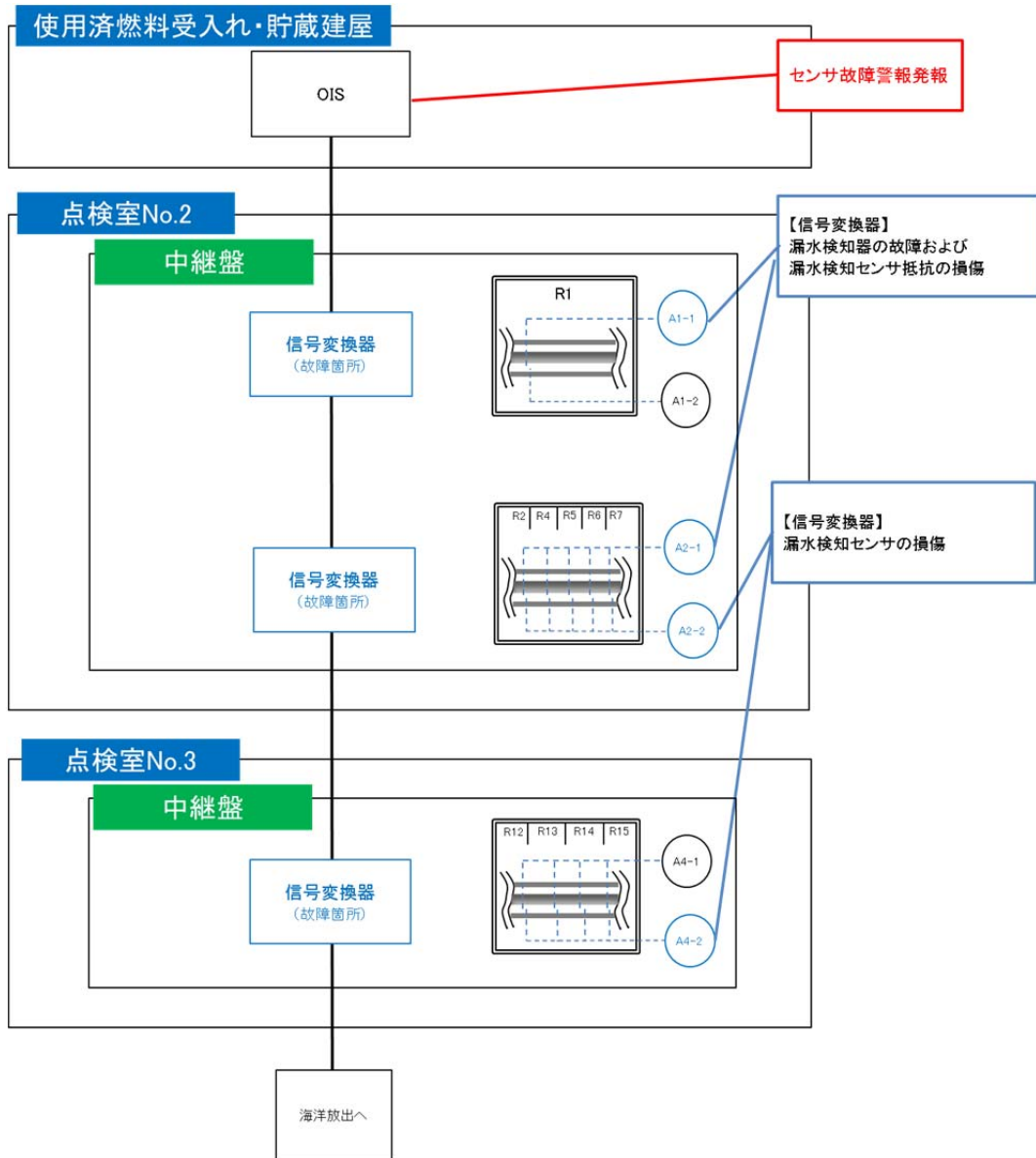


図 7 - 3 海洋放出管 センサの故障状況

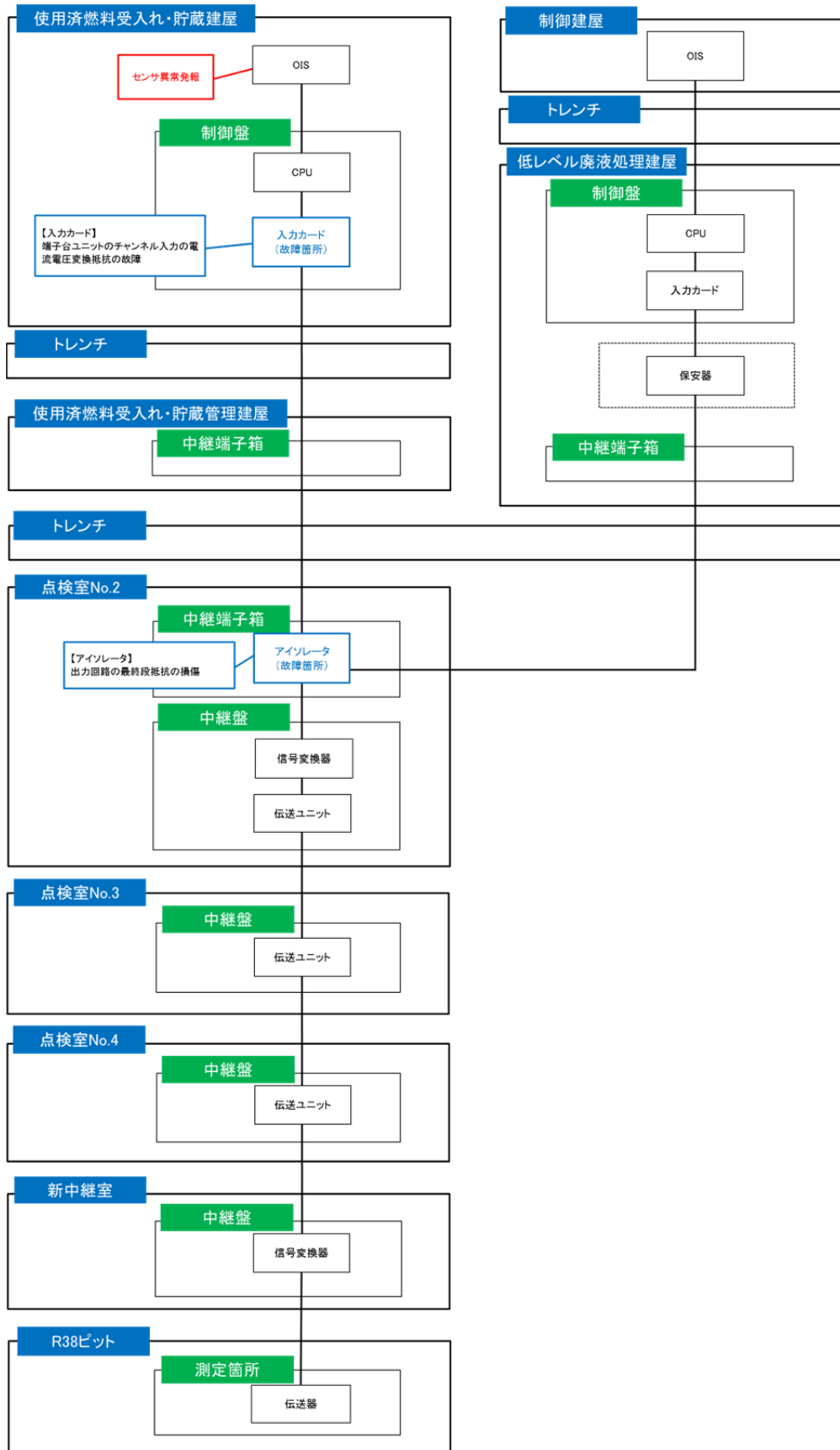


図 7 - 4 海洋放出管圧力の故障状況

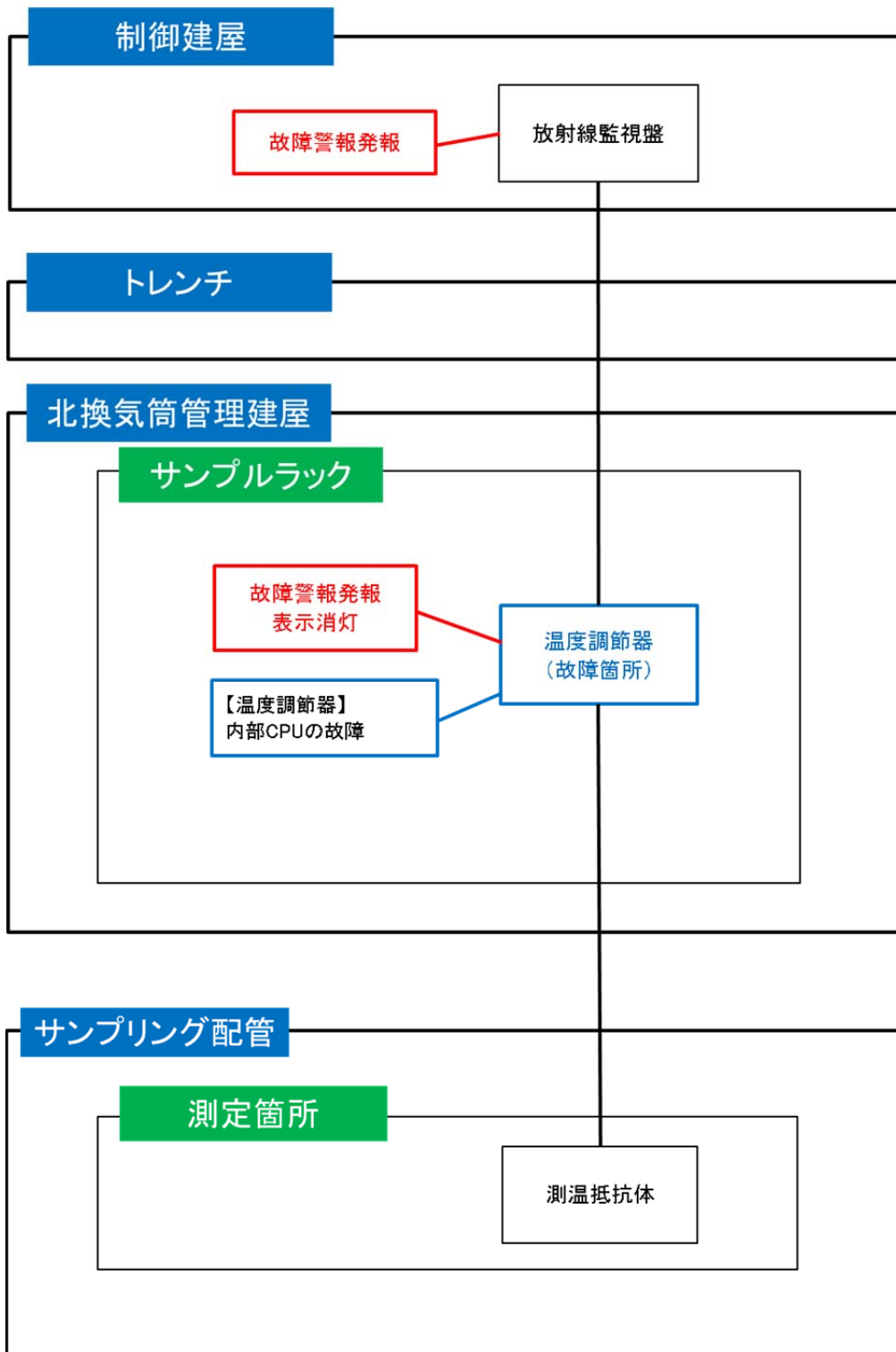


図 7 - 5 屋外ヒータ B 温度計の故障状況

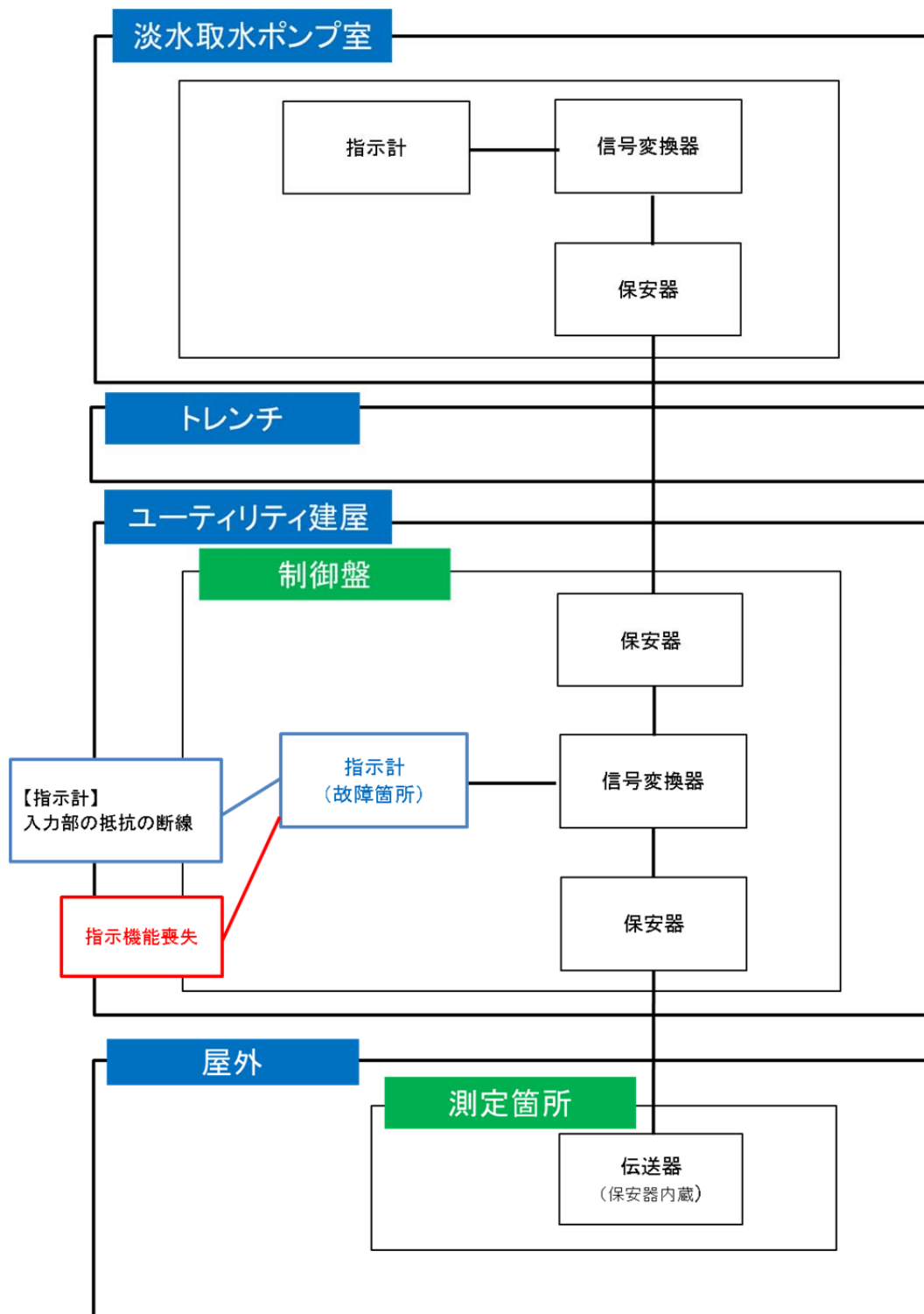


図 7 - 6 貯水池 (東) 水位計の故障状況

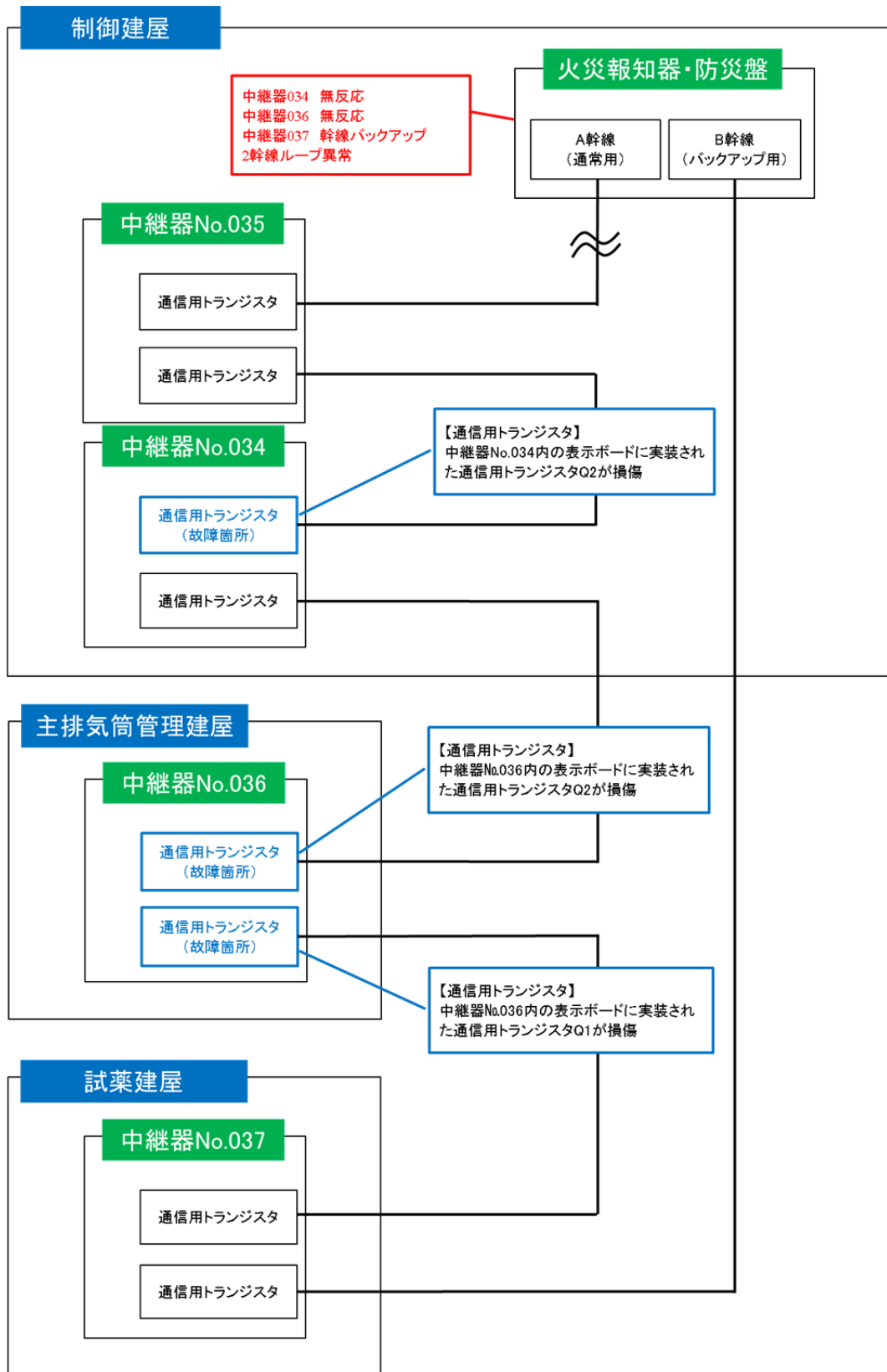


図 7 - 7 火災報知盤・防災盤に係る中継器の故障状況

安全上重要な機器における故障箇所の調査結果

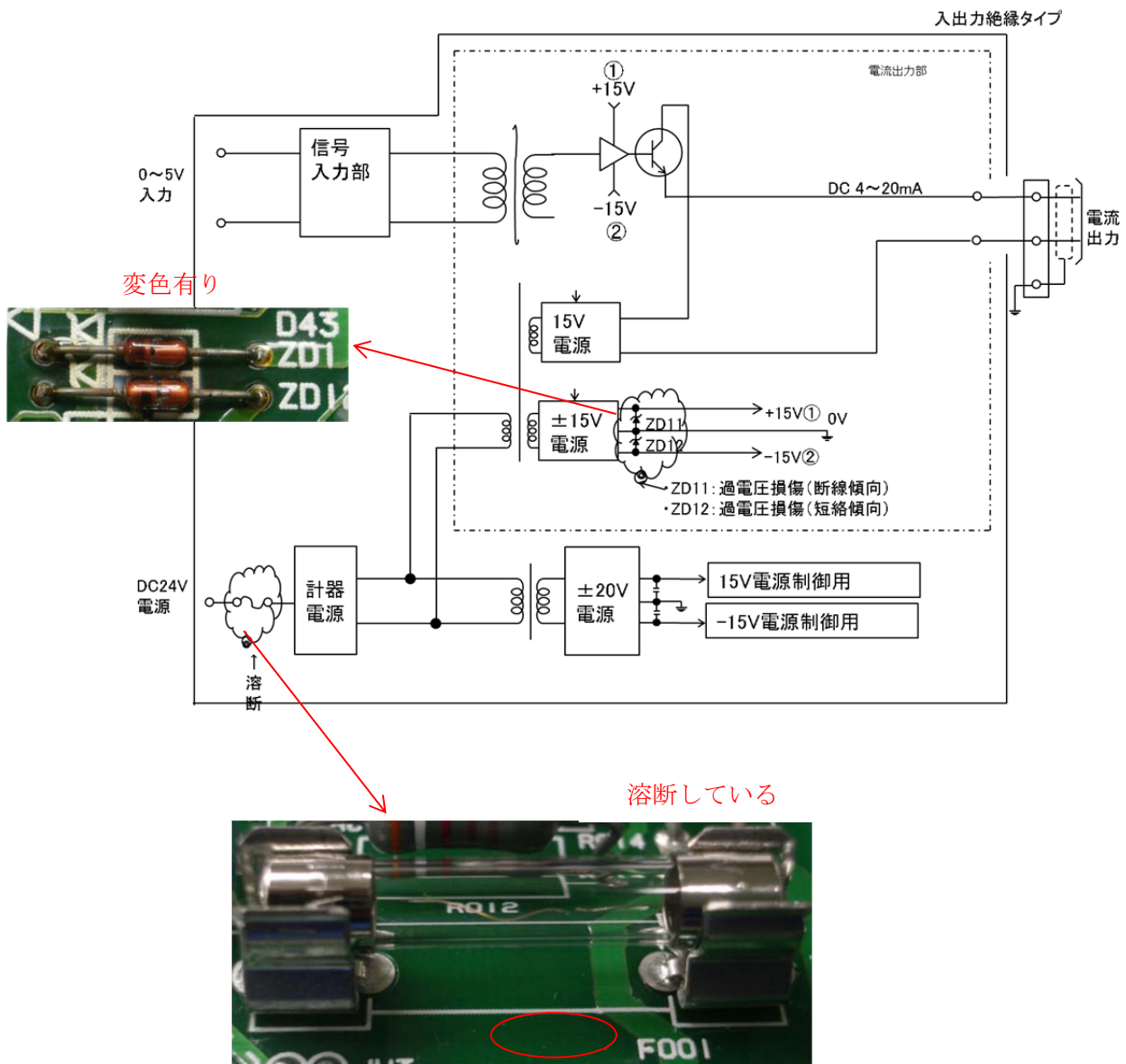
今回故障が確認された安全上重要な機器について、製造メーカーにより現品の詳細調査を行い、故障部位の特定等を行った。結果は以下のとおり。

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 8－1）	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 8－2）	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 8－3）	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 8－4）	
	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 8－5）	
	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 8－6）	
	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 8－7）	
	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 8－8）	

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 8 - 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 8 - 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 8 - 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 8 - 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 8 - 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 8 - 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 8 - 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

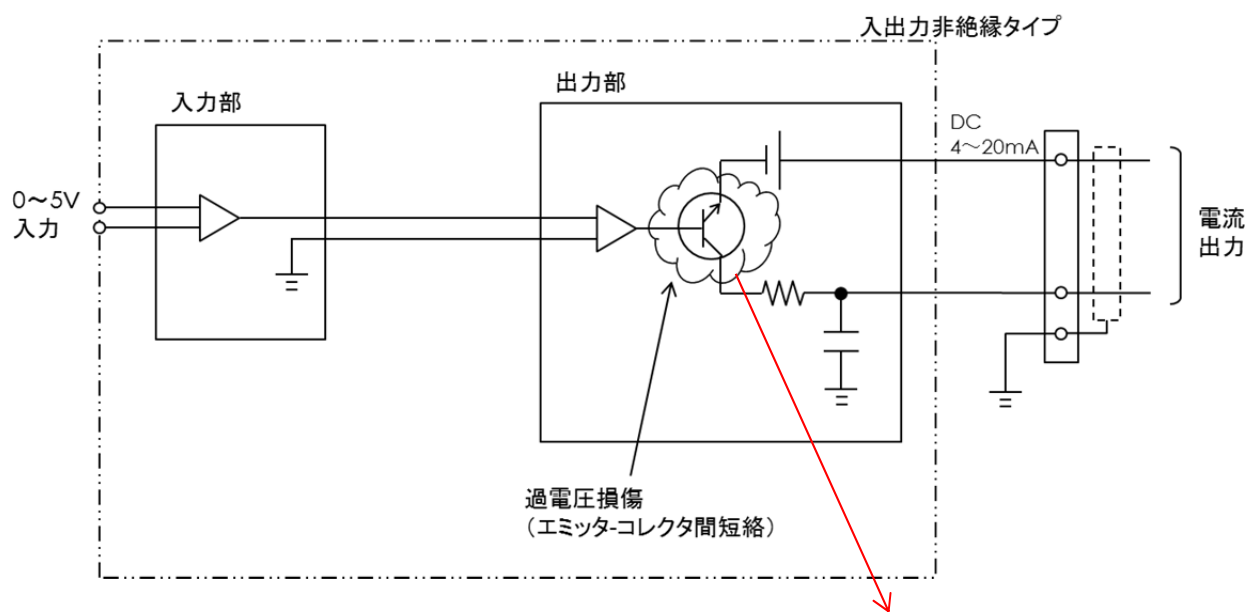
【現品点検から確認できた事実からの故障推定メカニズム】

- ・ 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8-1 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8-2 ミストフィルタ A1, A2 入口ガス圧力 調査結果

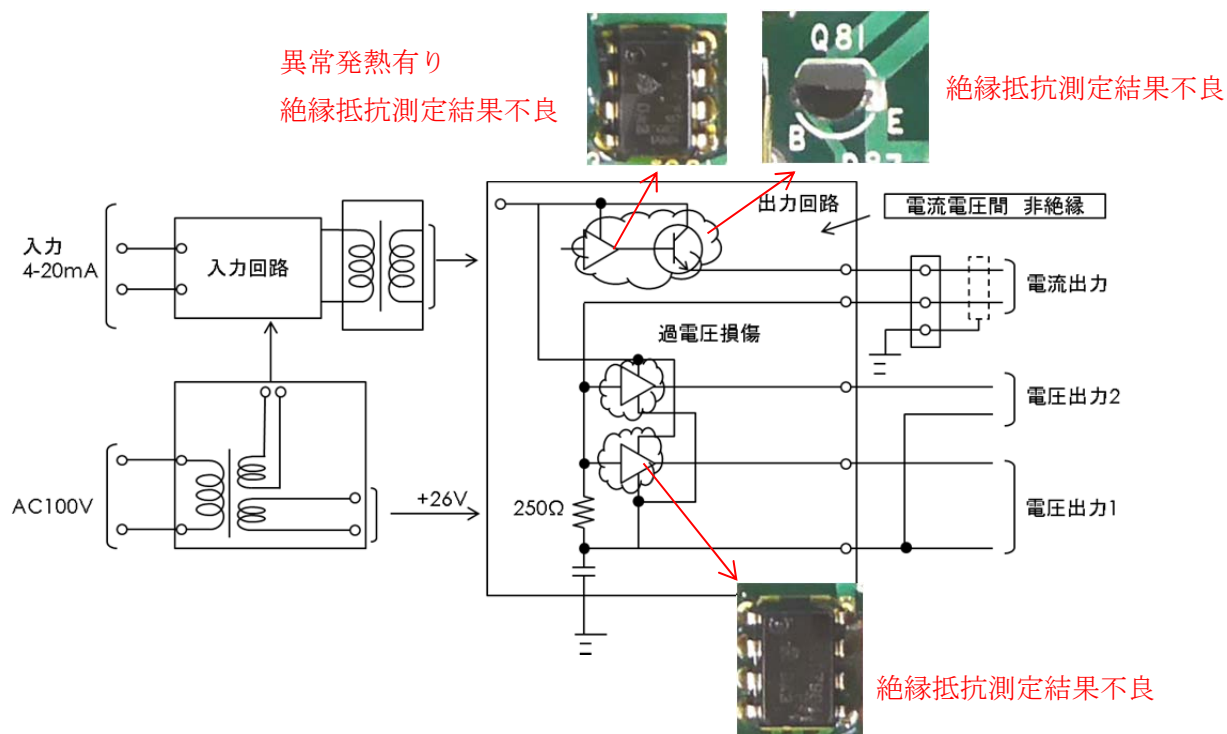
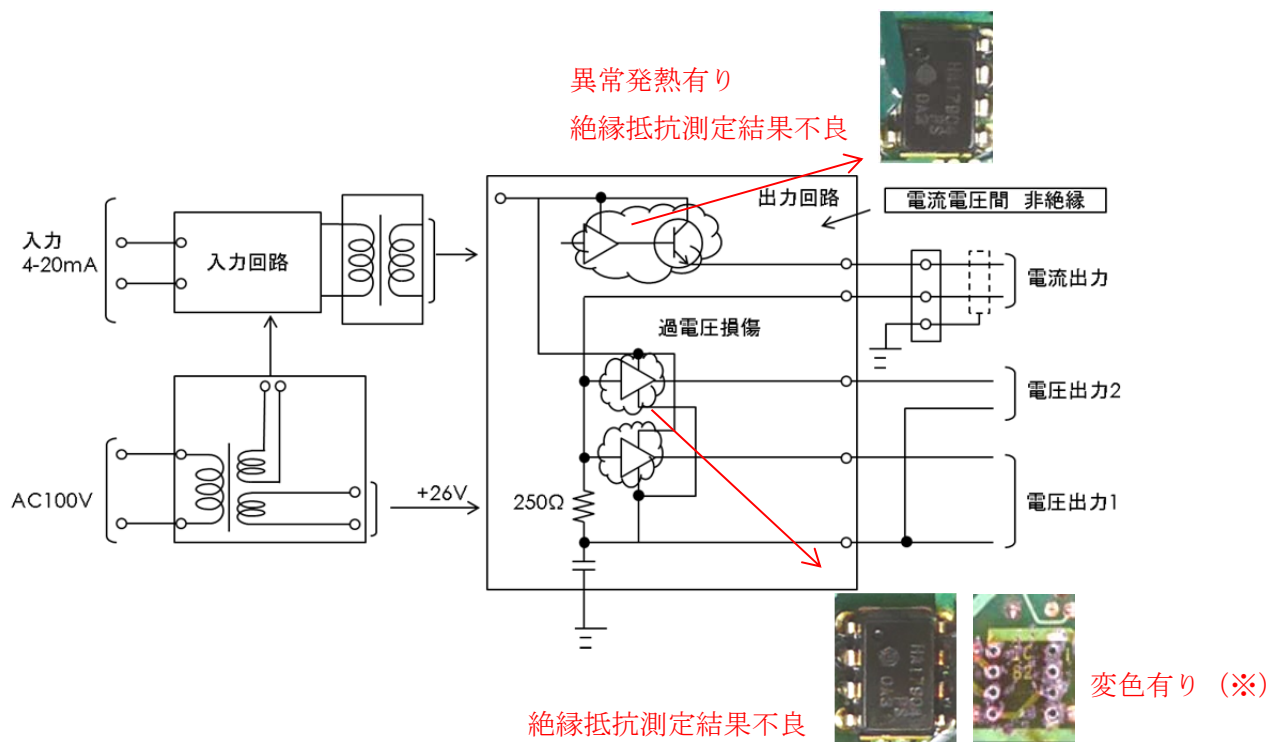


図 8 - 3 高レベル廃液供給槽セル漏えい液受血液位 A 調査結果



※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 8 - 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

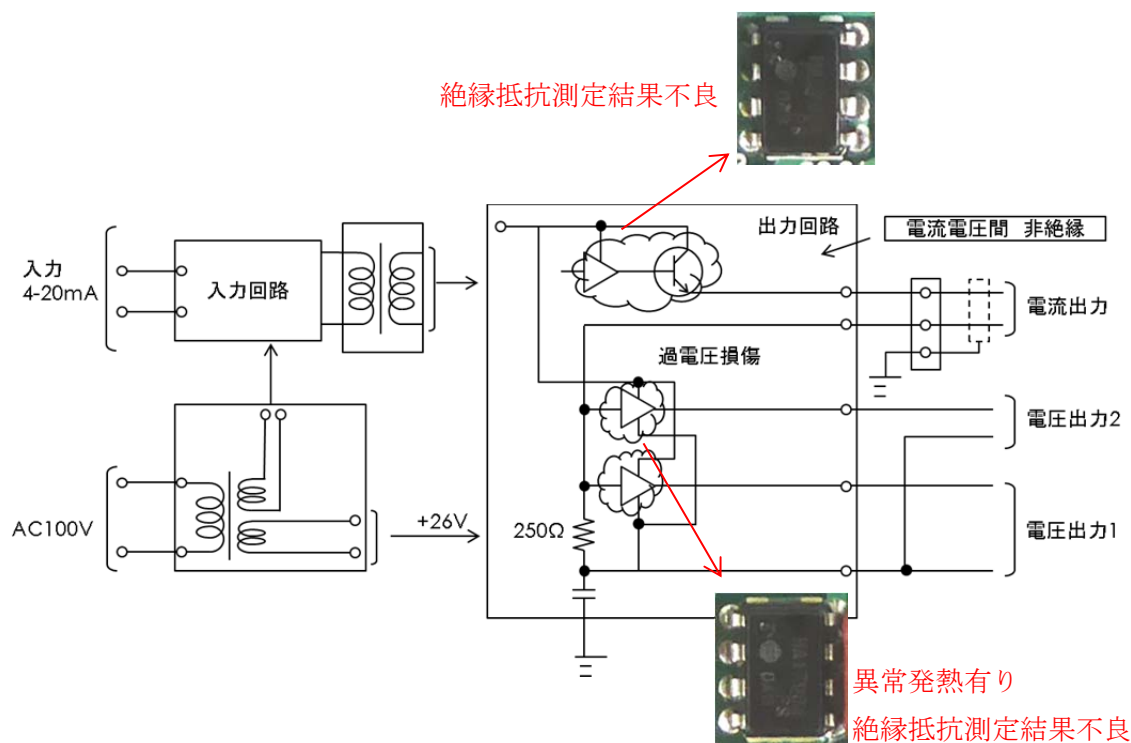


図 8 - 5 廃ガス洗浄塔入口圧力 A 調査結果

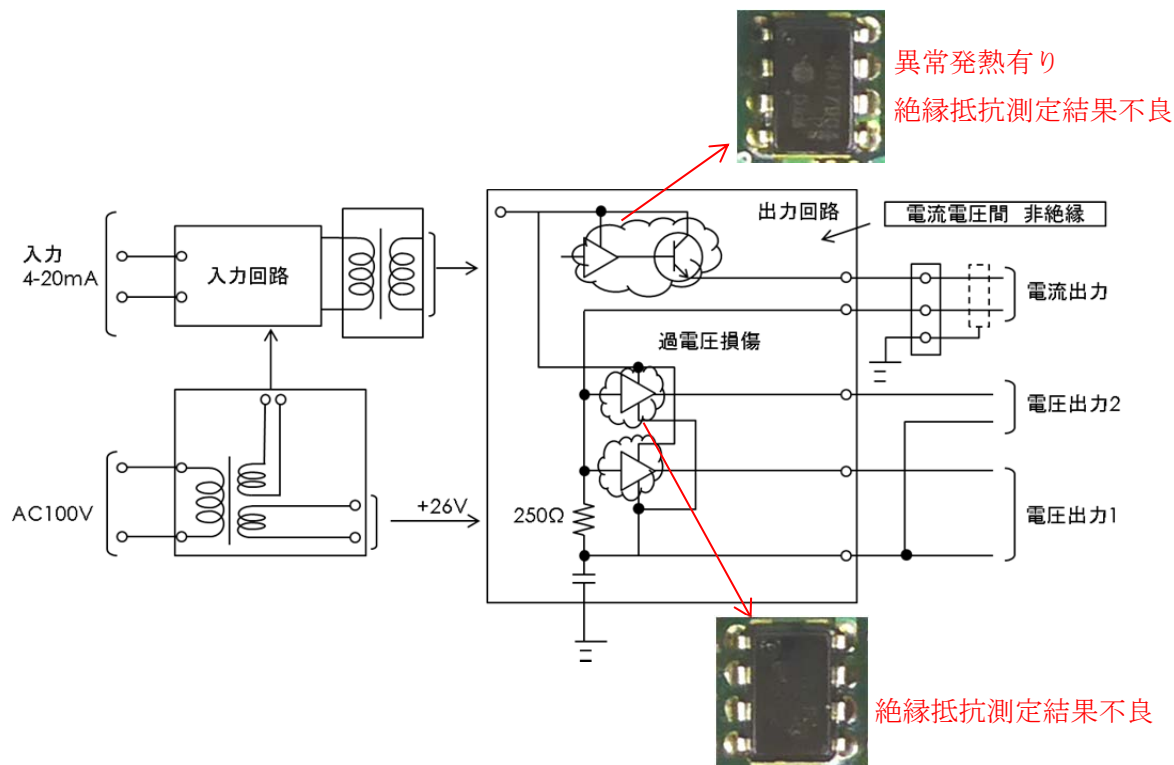


図 8 - 6 廃ガス洗浄塔入口圧力 B 調査結果

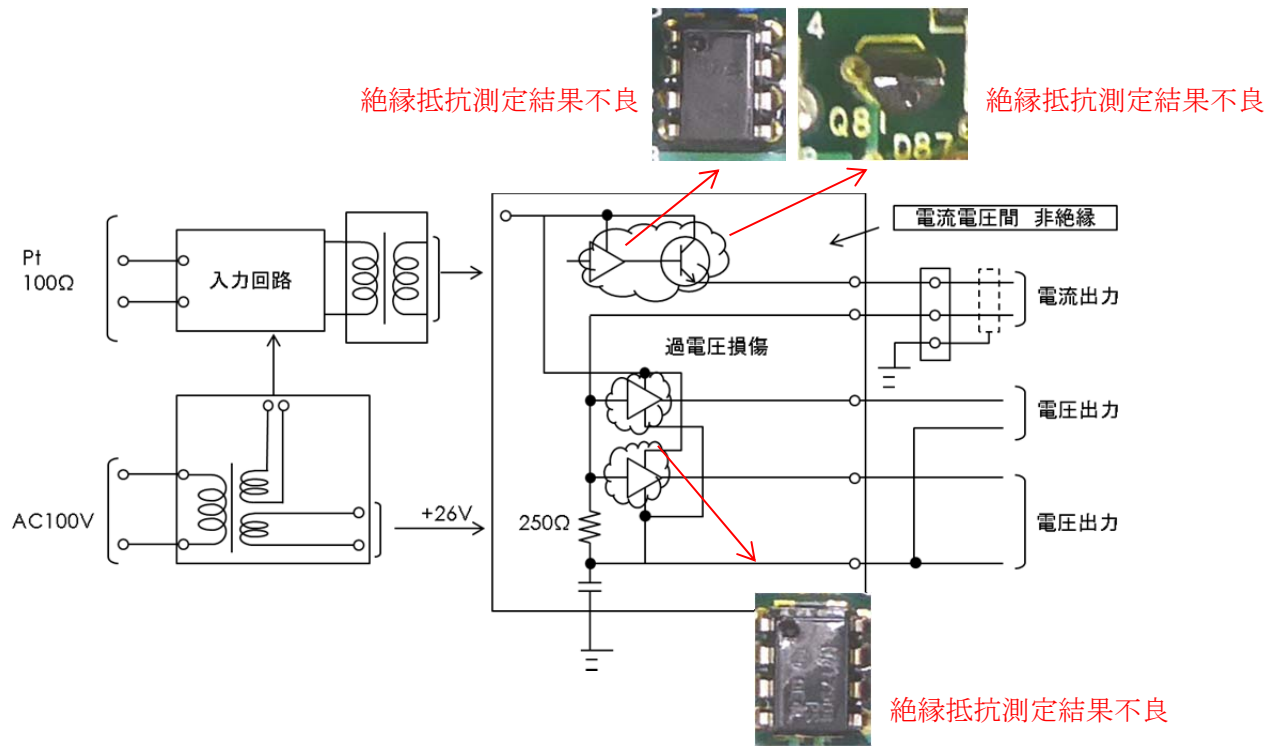
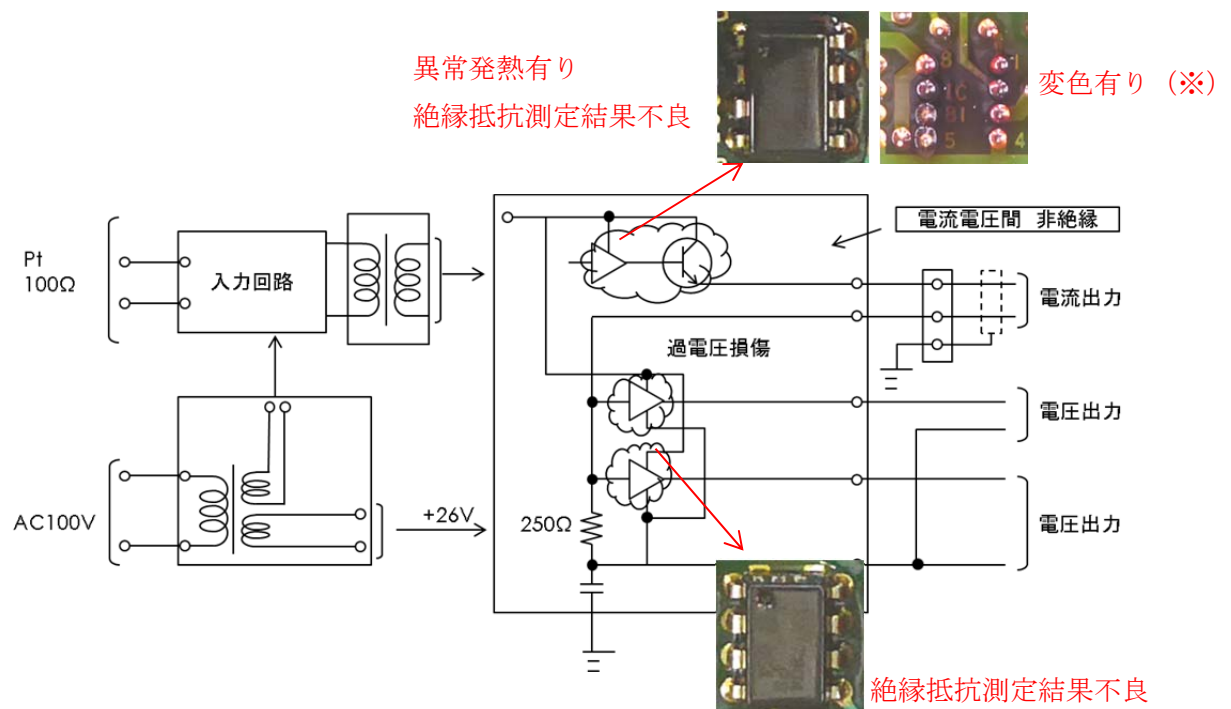


図 8 - 7 高レベル廃液濃縮缶凝縮器 A 出口廃ガス温度 A 調査結果



※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 8 - 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

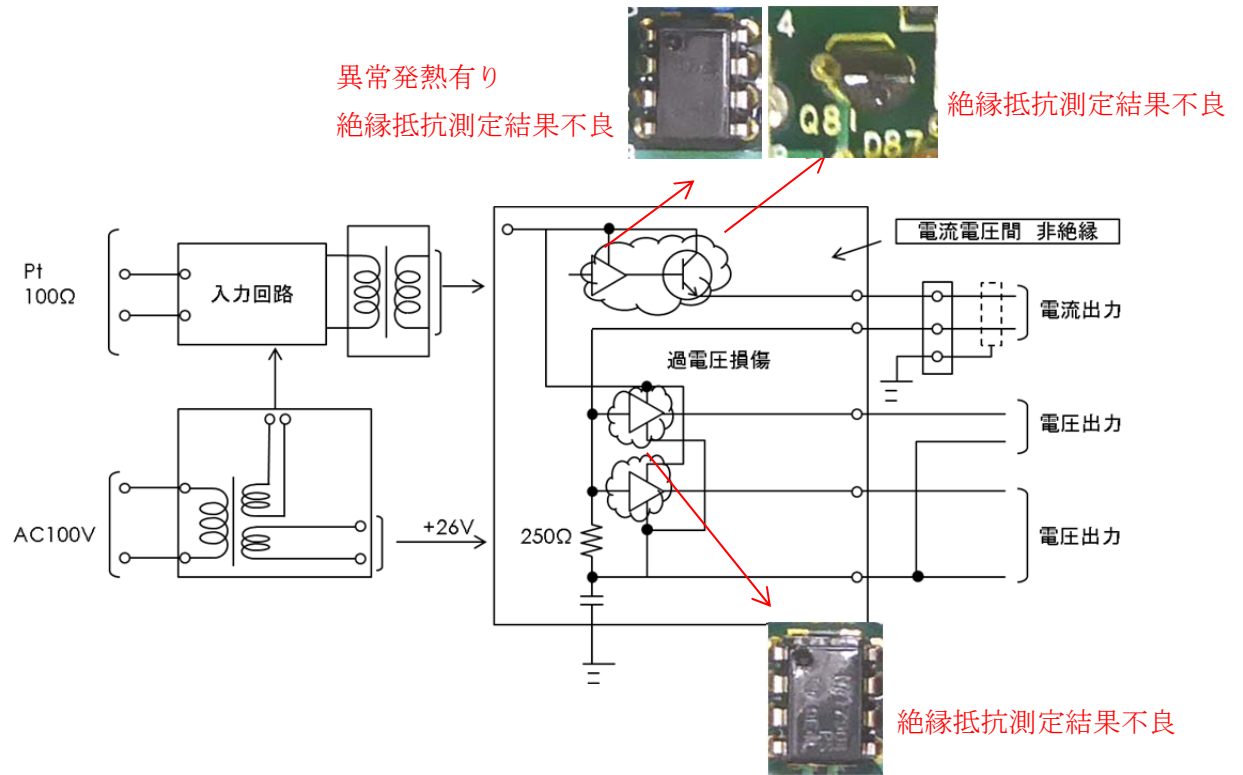
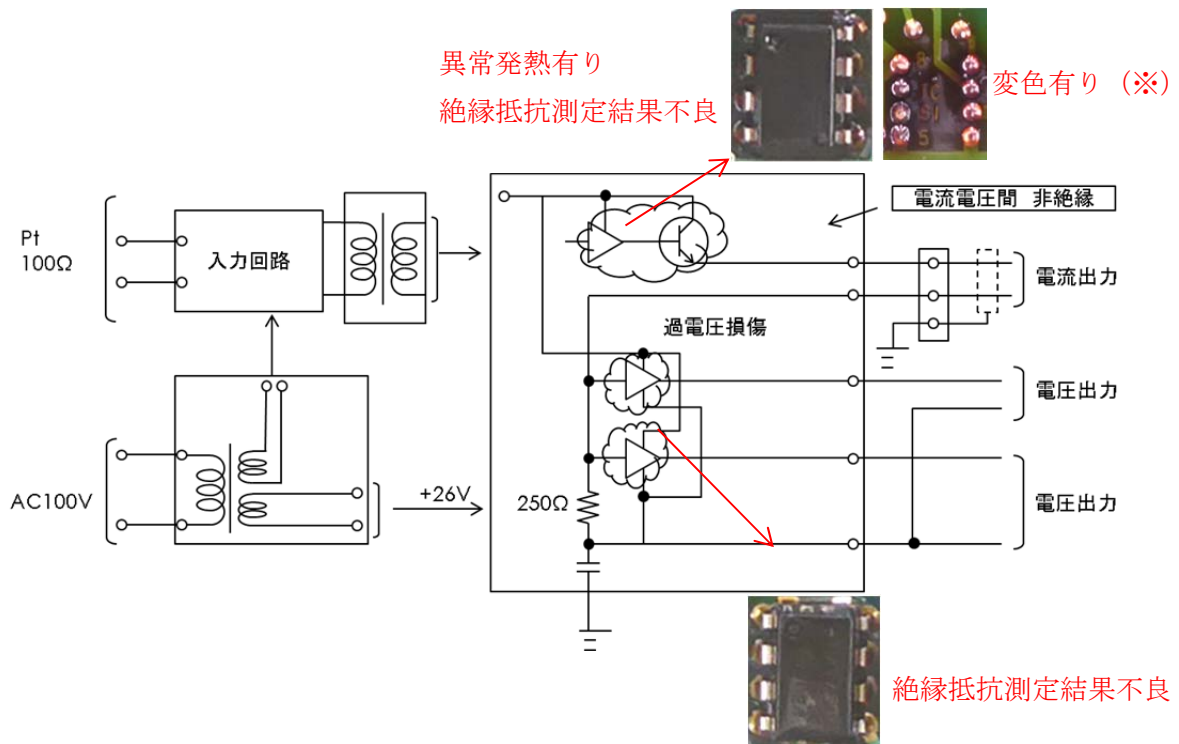


図 8 - 9 高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 A 調査結果



※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 8 - 10 高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度 B 調査結果

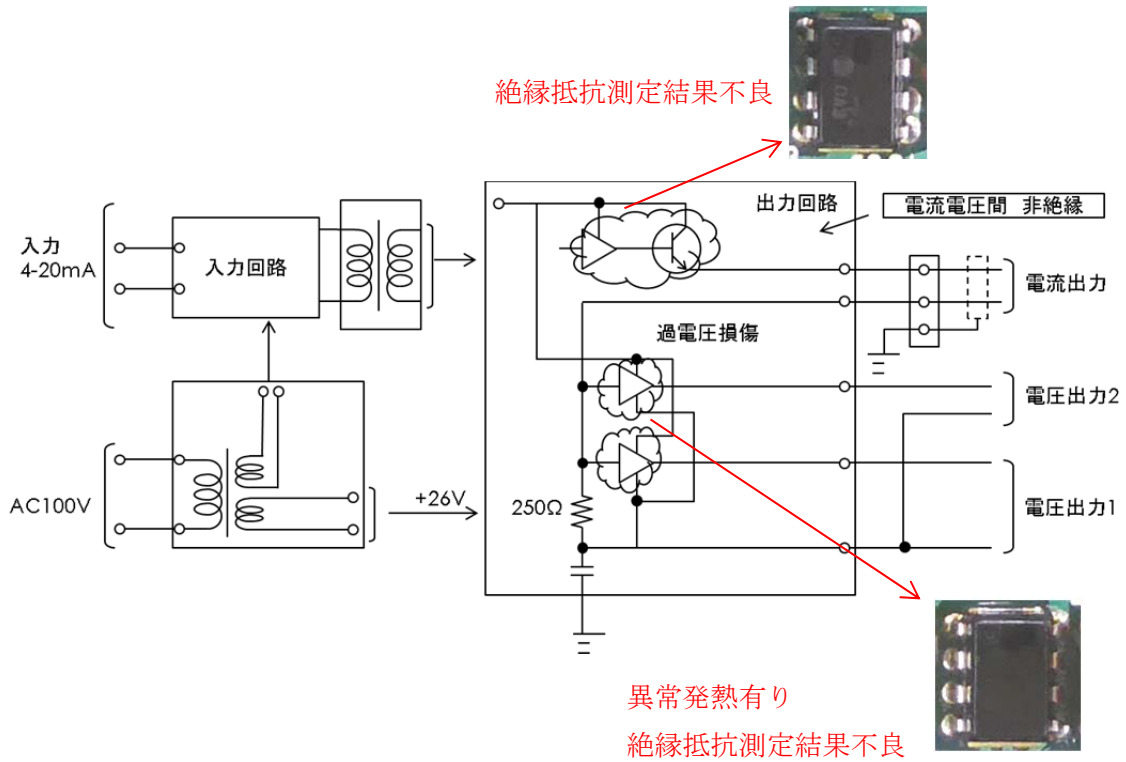
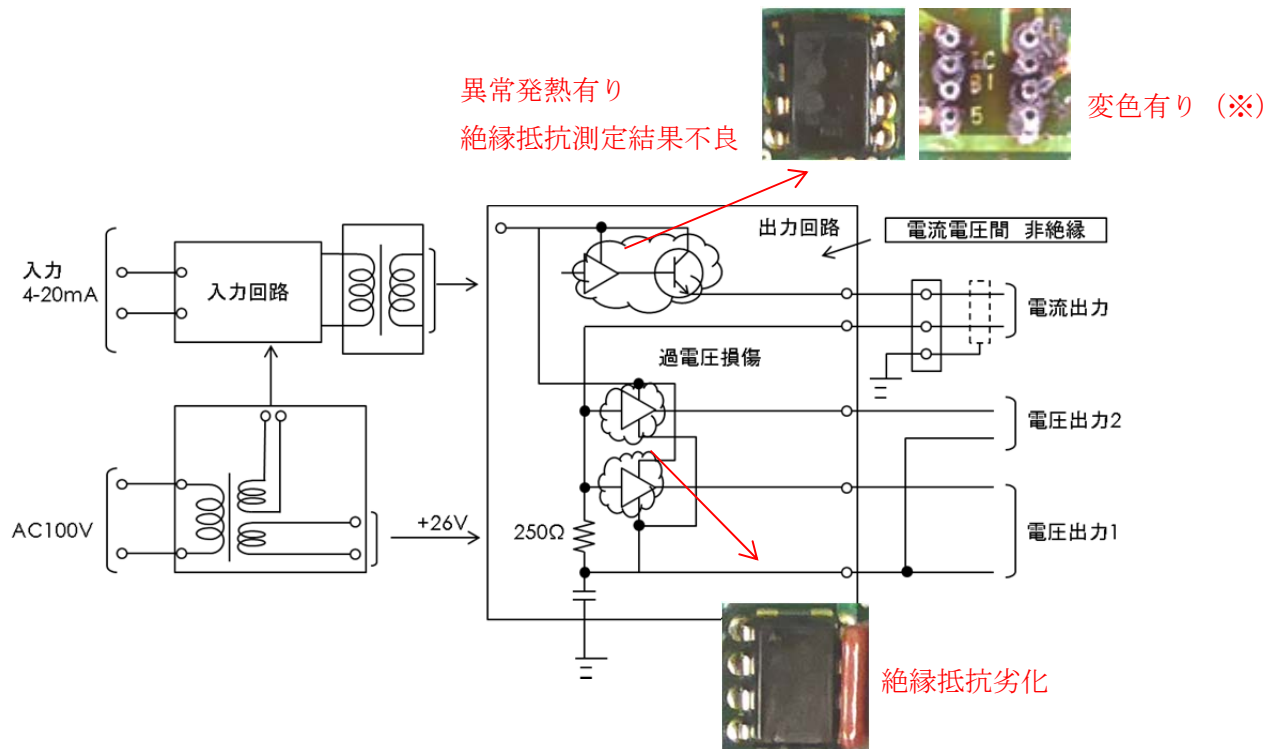


図 8 - 1 1 放射性配管分岐第 2 セル漏えい液受皿 2 液位 A 調査結果



※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 8 - 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

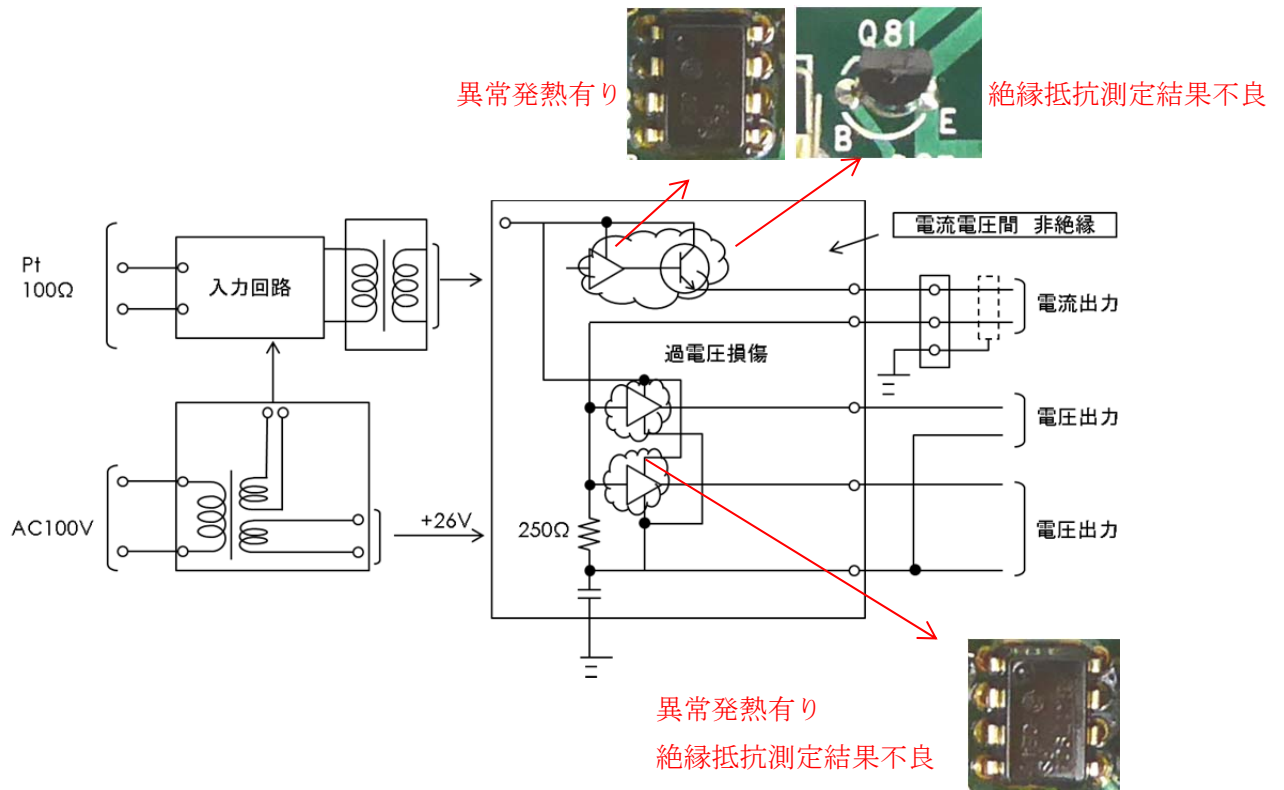
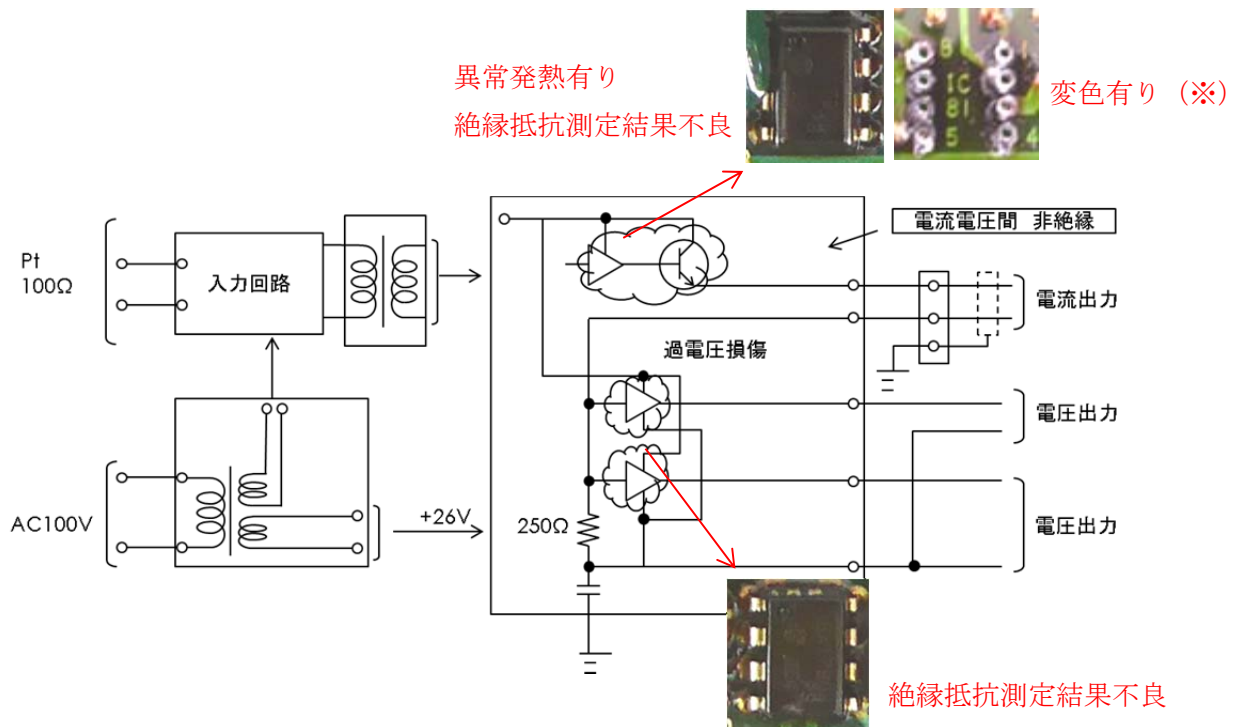


図 8 - 1 3 ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 A 調査結果



※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 8 - 1 4 ウラン濃縮缶加熱蒸気温度 B 調査結果

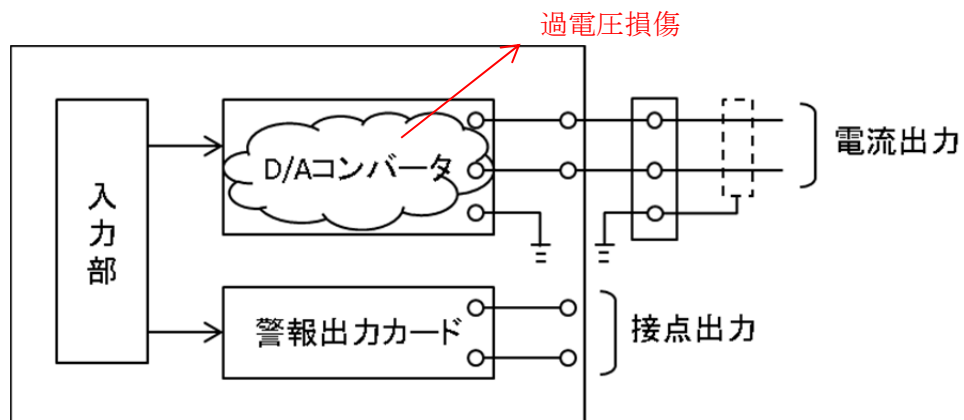
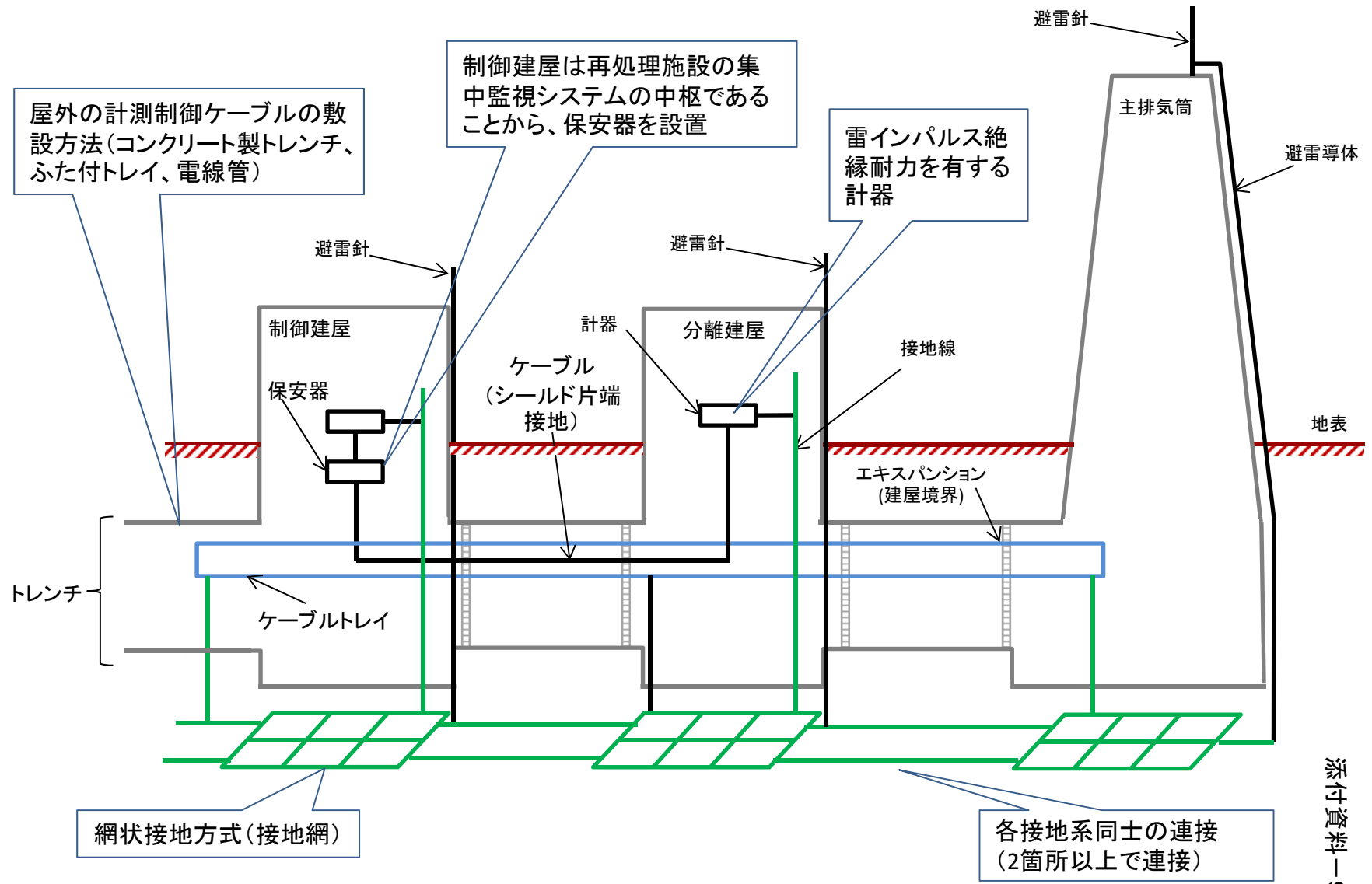
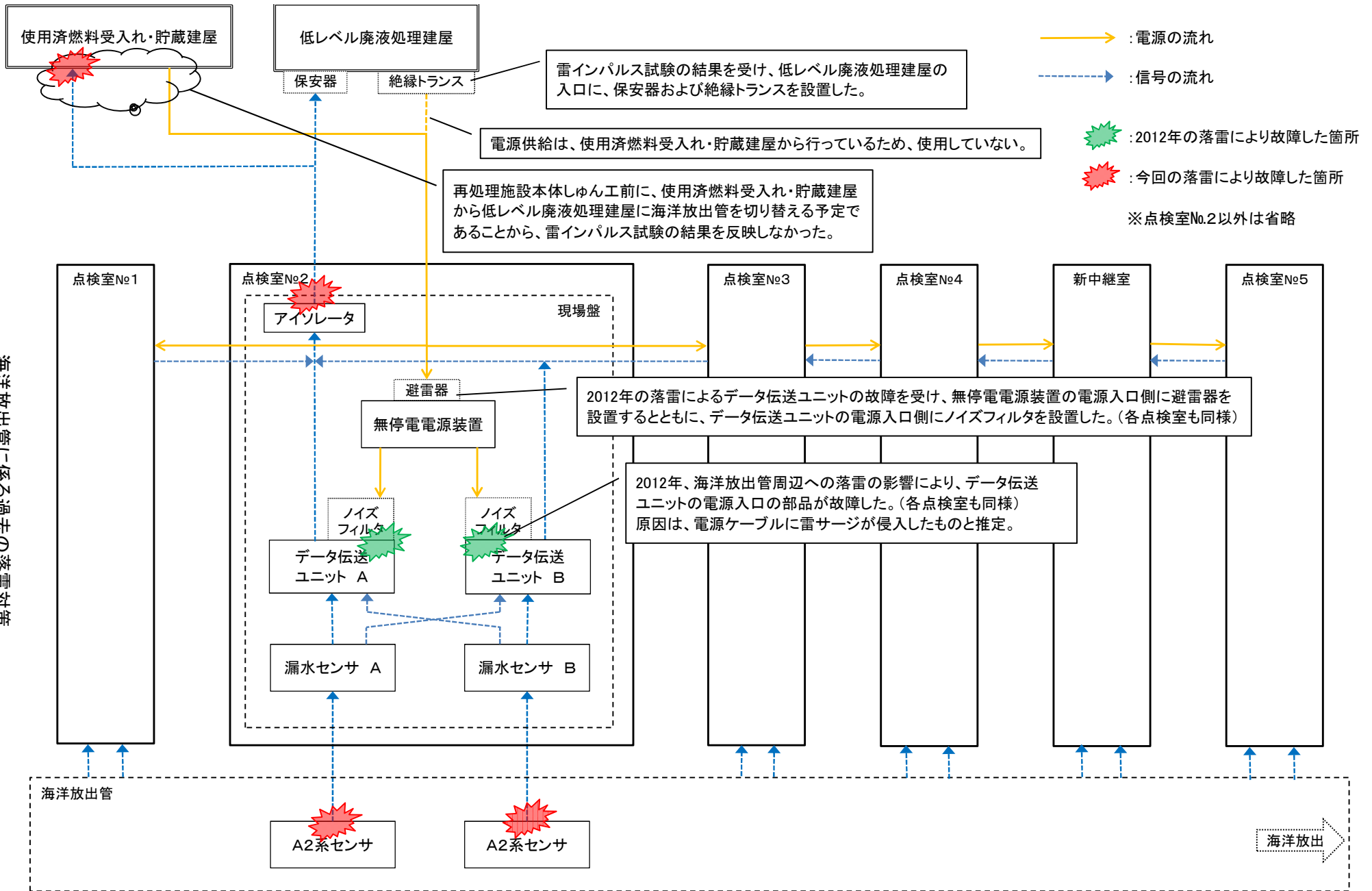
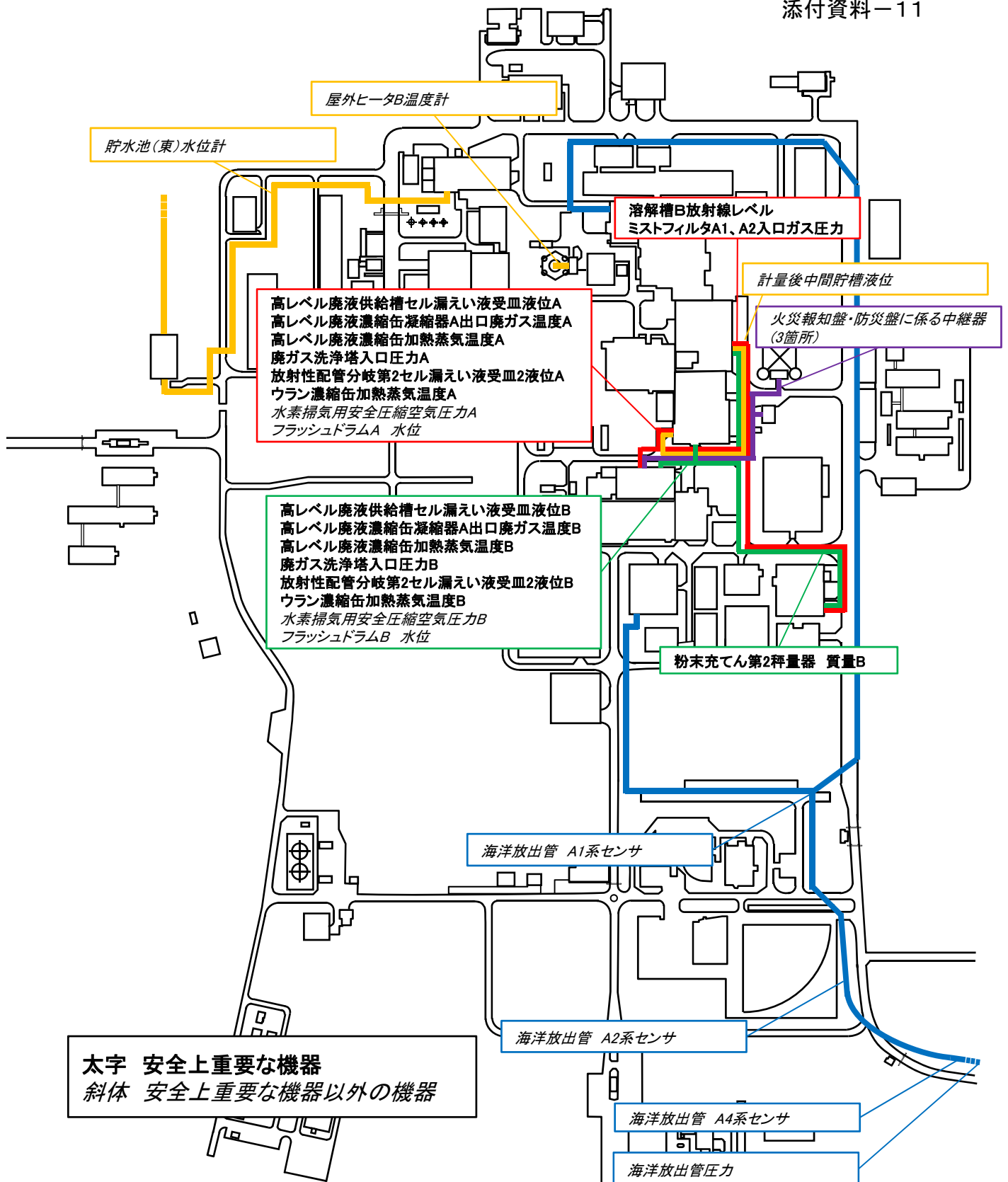


図8-15 粉末充てん第2秤量器 質量B 調査結果

再処理施設の耐雷設計

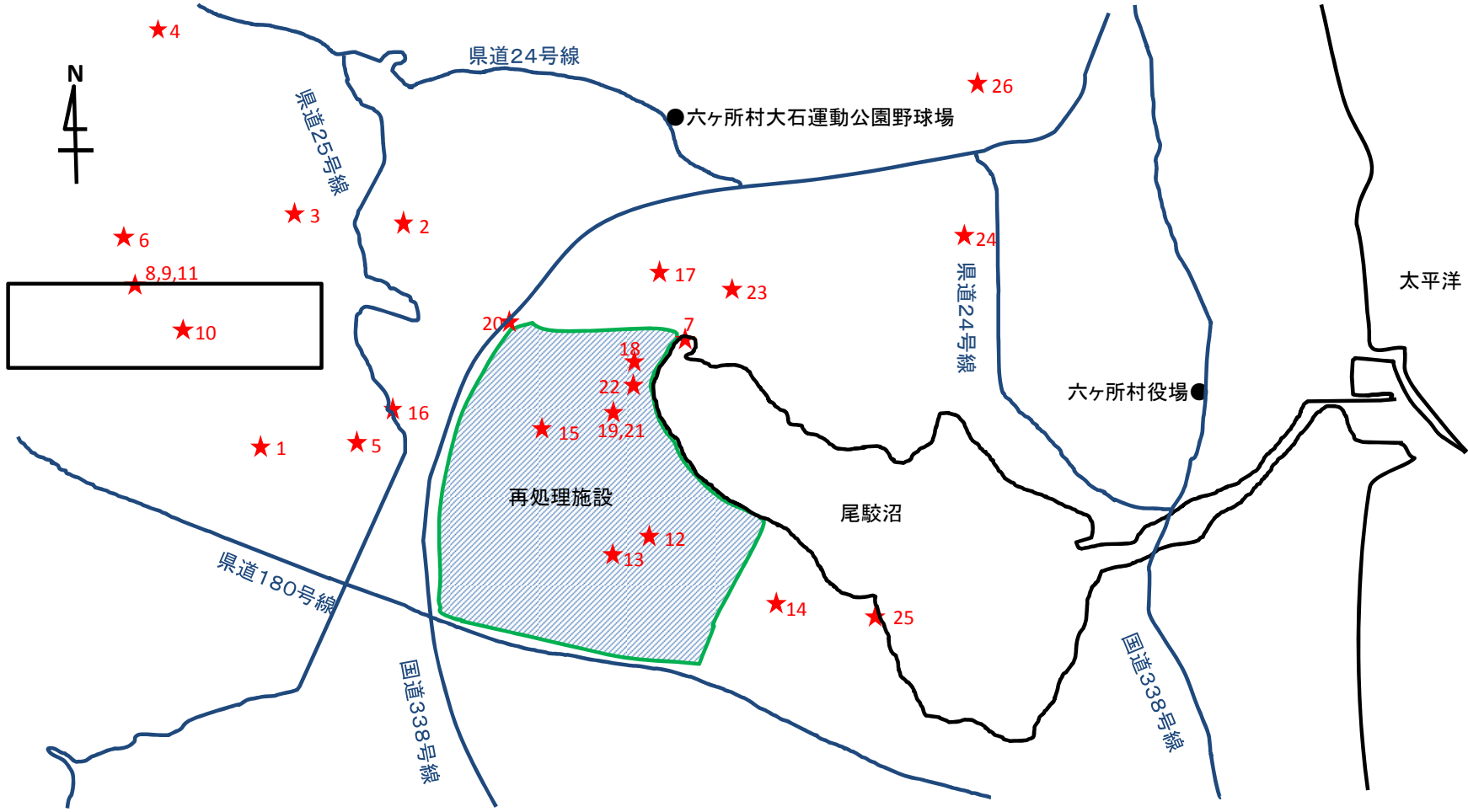






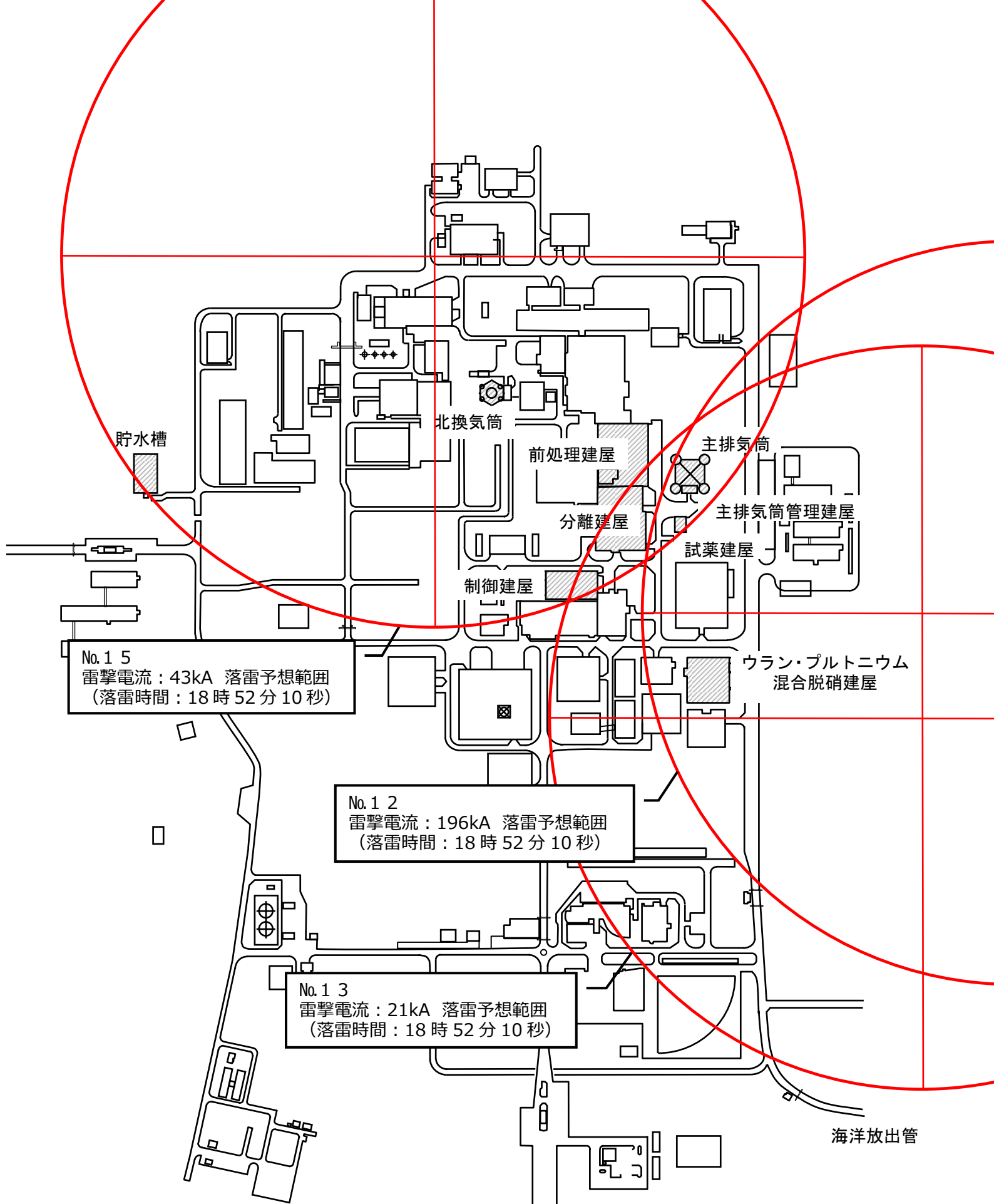
故障が確認された機器に係るケーブル等の配置

再処理施設敷地内及び周辺における落雷想定箇所

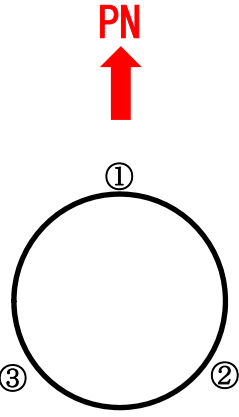




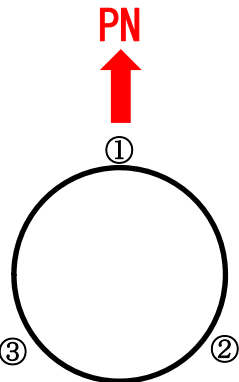
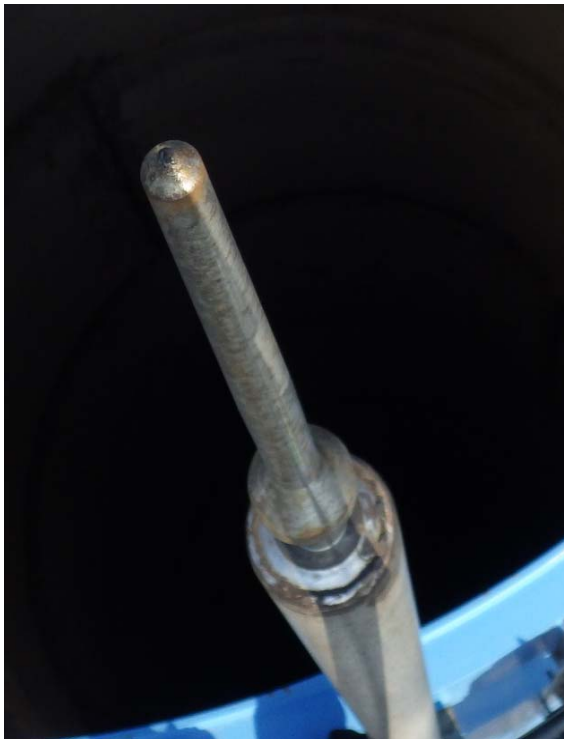
番号	落雷時間
1～3	18時49分17秒
4	18時49分42秒
5～9	18時51分04秒
10～11	18時51分05秒
12～16	18時52分10秒
17～22	18時52分59秒
23～26	18時55分07秒

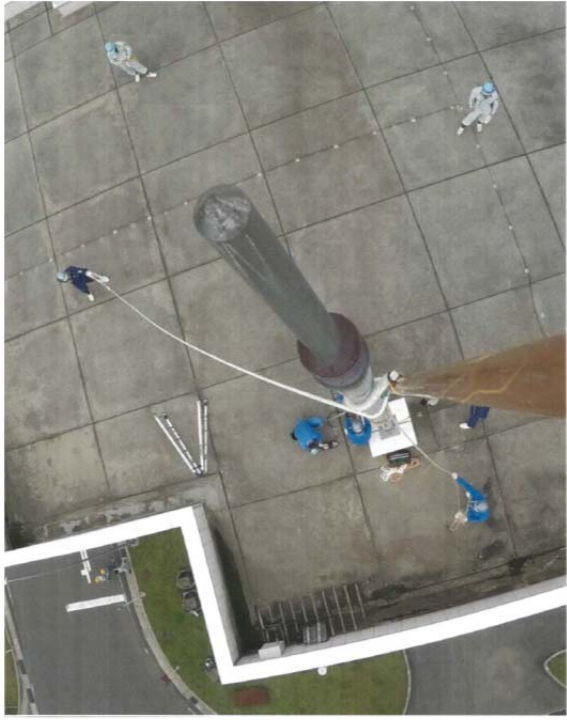

★: 落雷想定箇所

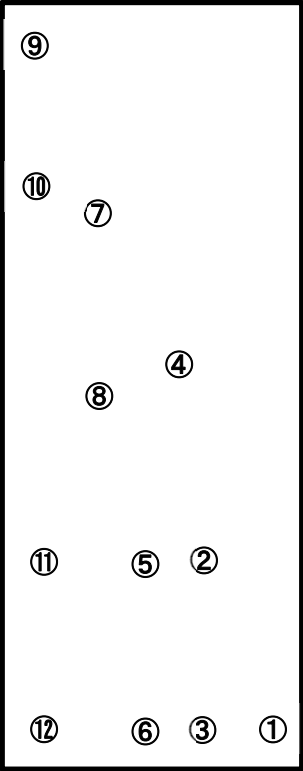




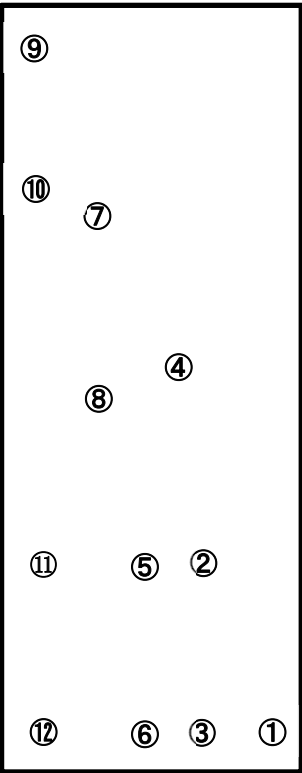


避雷針での落雷痕跡の調査結果

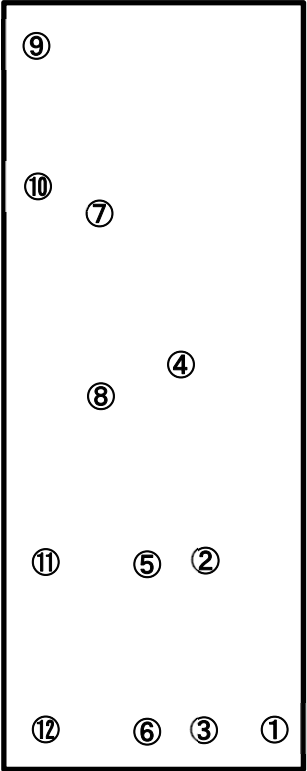


名称	全体図	避雷針調査	調査結果
主排気筒		<p>①</p>  <p>②</p> 	<p>① 落雷によるものと思われる溶融痕が確認された。ただし今回の落雷によるものかは不明。</p> <p>② 落雷痕は確認されなかった。</p>

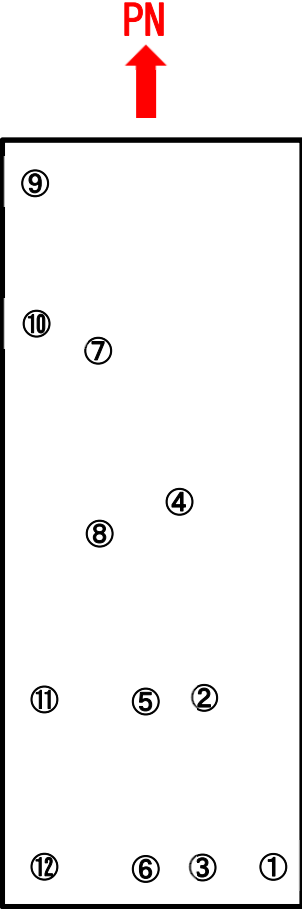

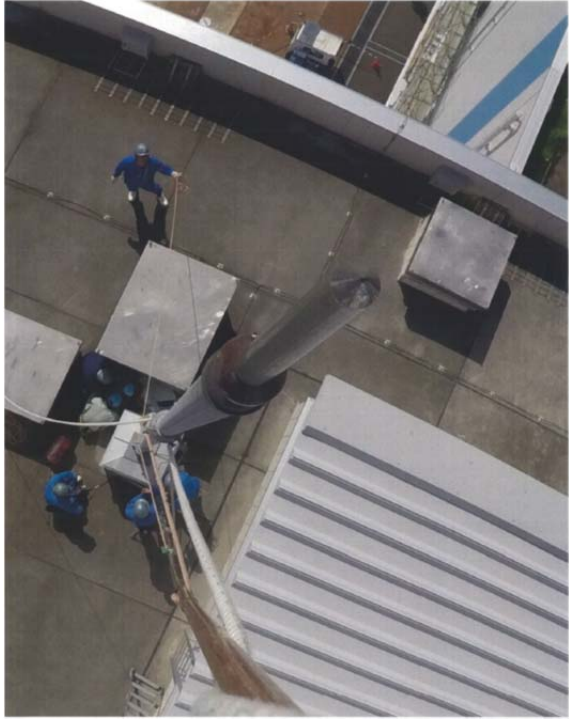
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
主排気筒		<p>③</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

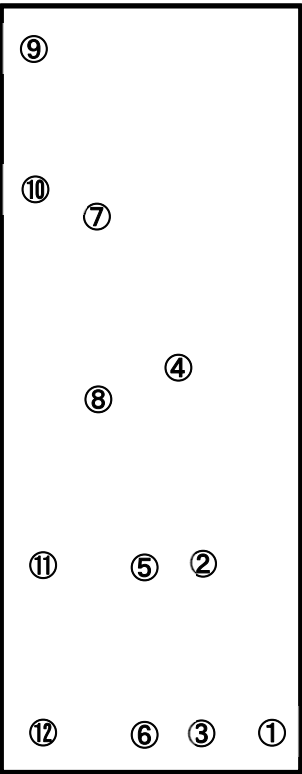
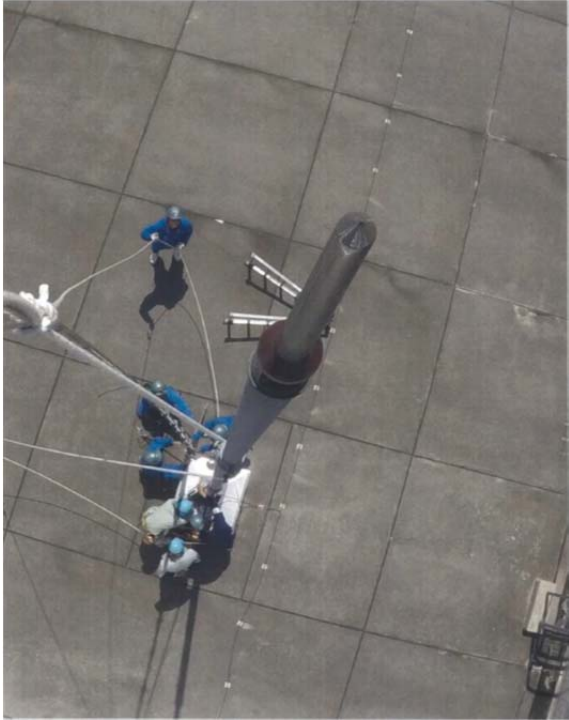

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">PN ↑</p> <div style="border: 2px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">⑨</p> <p style="text-align: center;">⑩ ⑦</p> <p style="text-align: center;"> ④</p> <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>

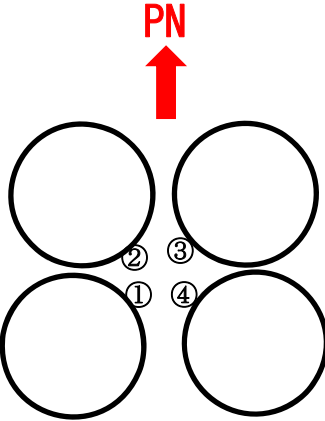


名称	全体図	避雷針調査	調査結果
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">分離建屋</p>	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>③</p>  <p>④</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

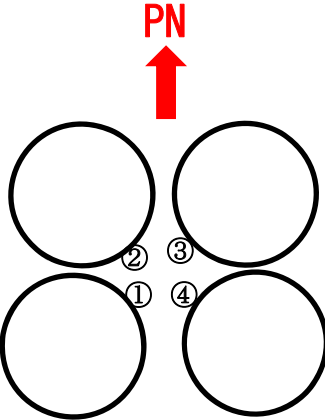
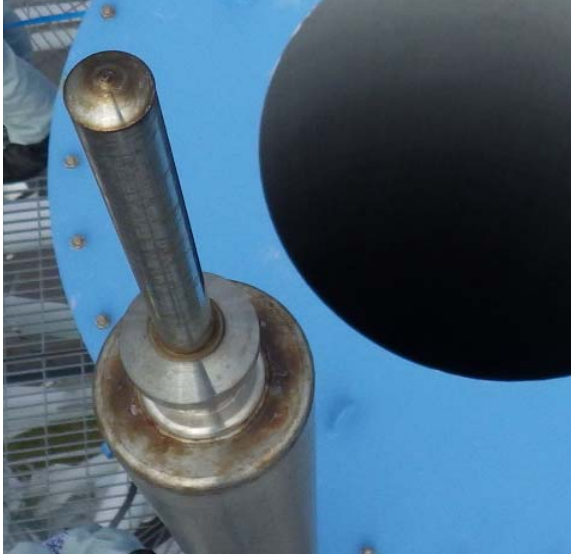

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>⑤</p>  <p>⑥</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

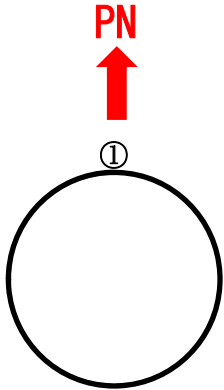

名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>⑦</p>  <p>⑧</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

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>

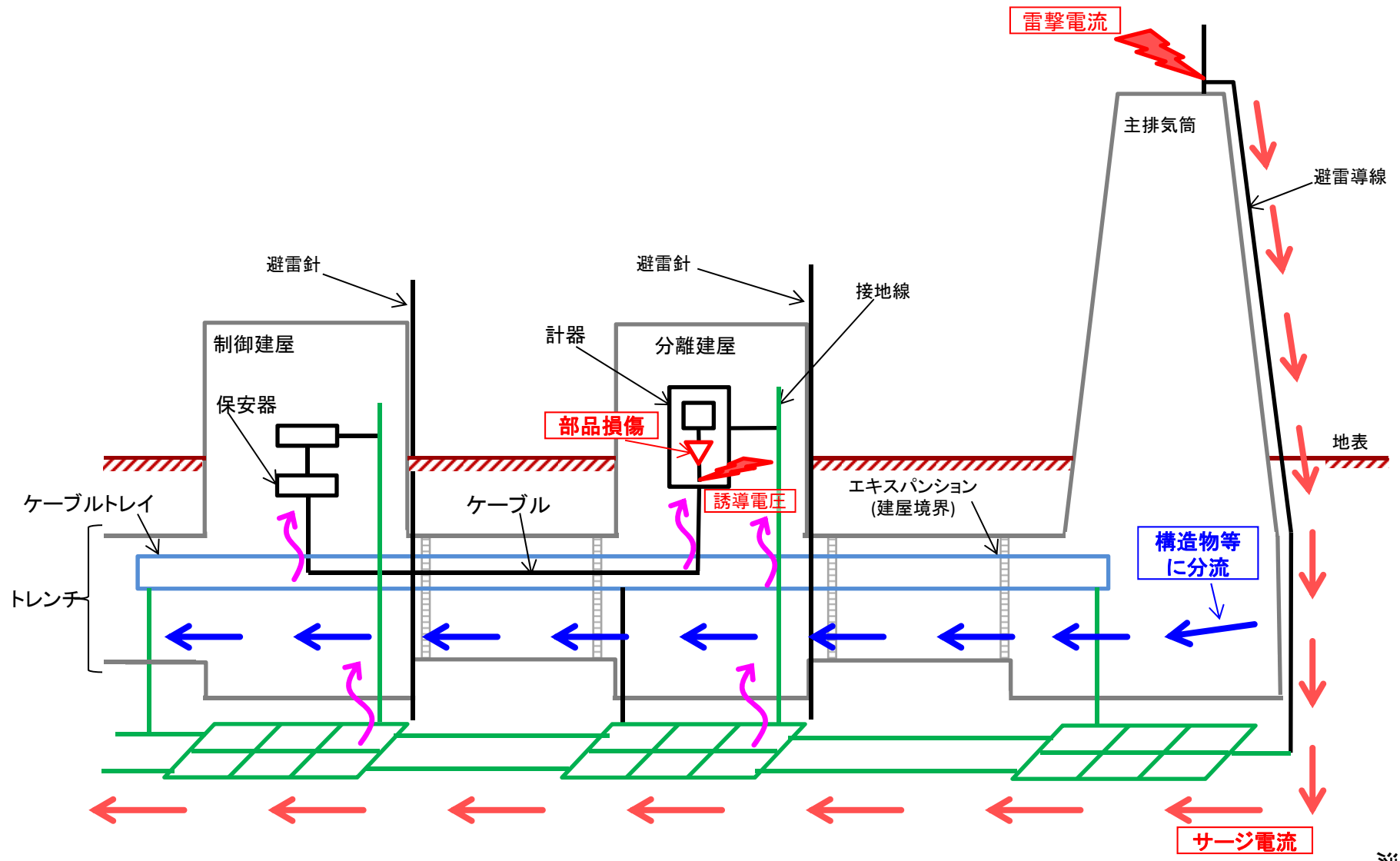
名称	全体図	避雷針調査	調査結果
分離建屋	<div style="text-align: center;"> <p>PN ↑</p>  </div>	<p>⑪</p>  <p>⑫</p> 	<p>落雷痕は確認されなかった。</p>

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>

主排気筒への落雷の雷撃電流の流れ



機器が故障したことに対する対策

- 建屋間でDC4-20 mAのアナログ信号伝送を行っている計装回路は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。
- 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り合っており、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を追加する

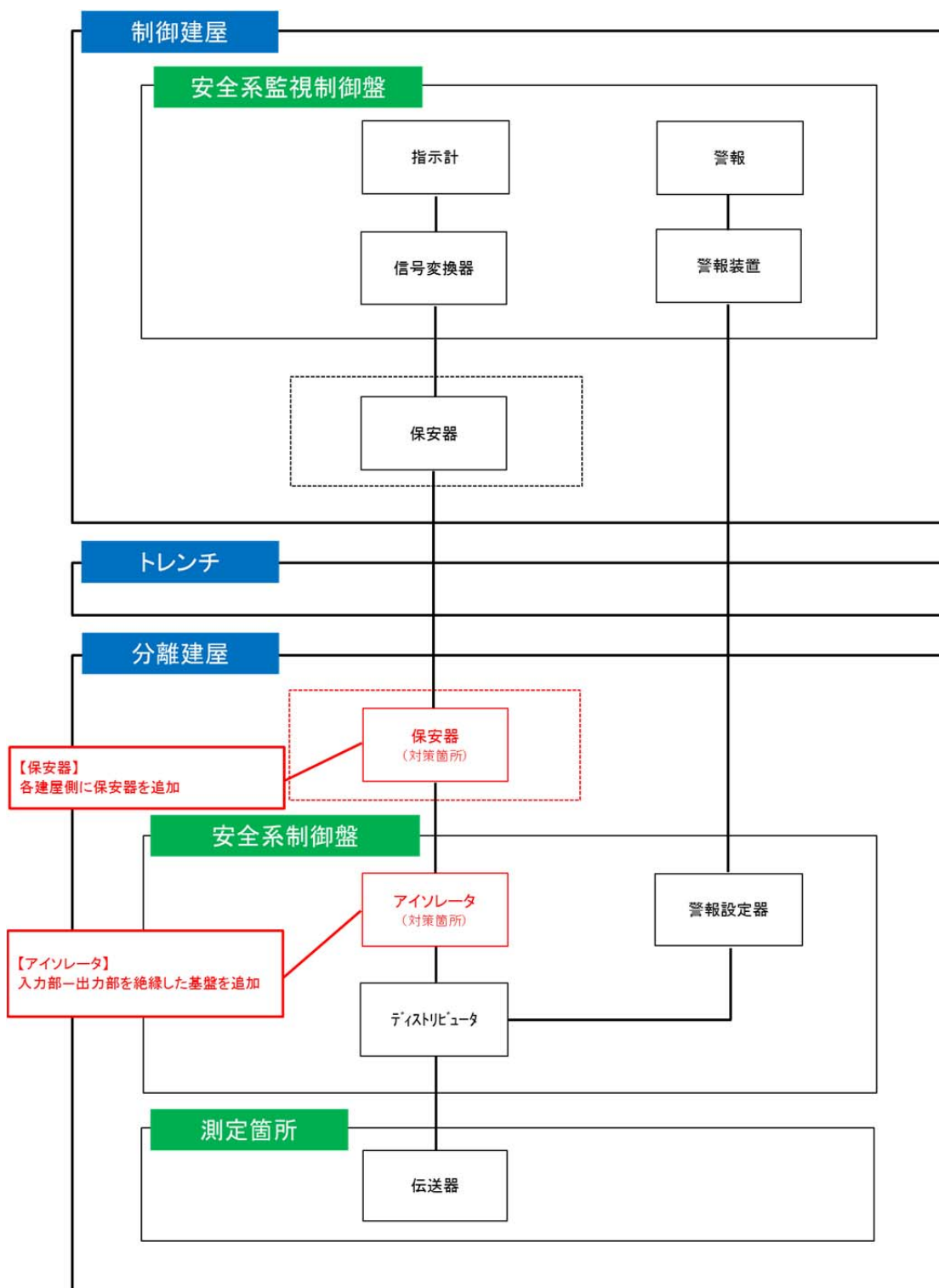


図 1 5 - 1 分離建屋に対する対策

- 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

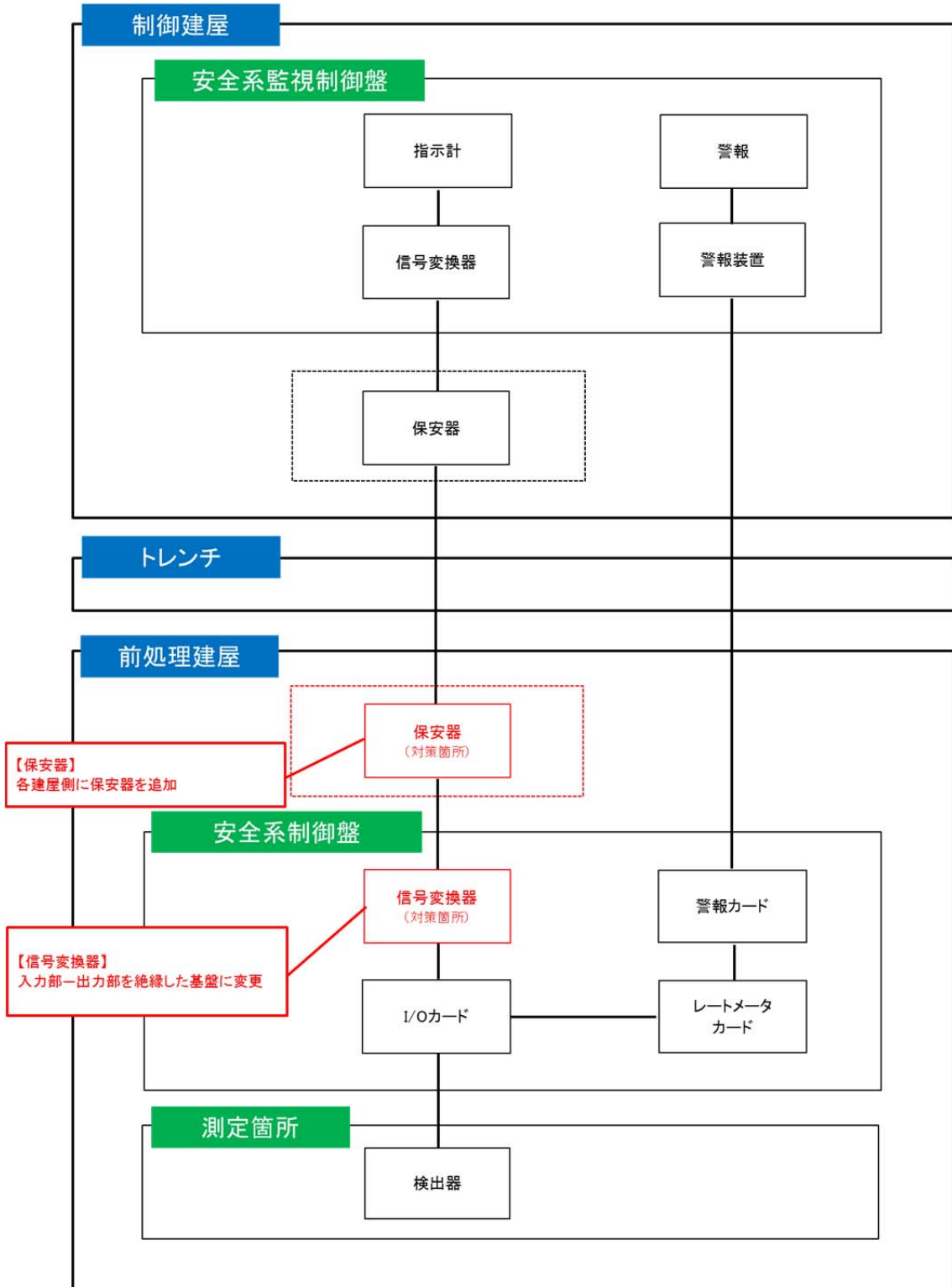


図 1 5 - 2 前処理建屋に対する対策

- 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

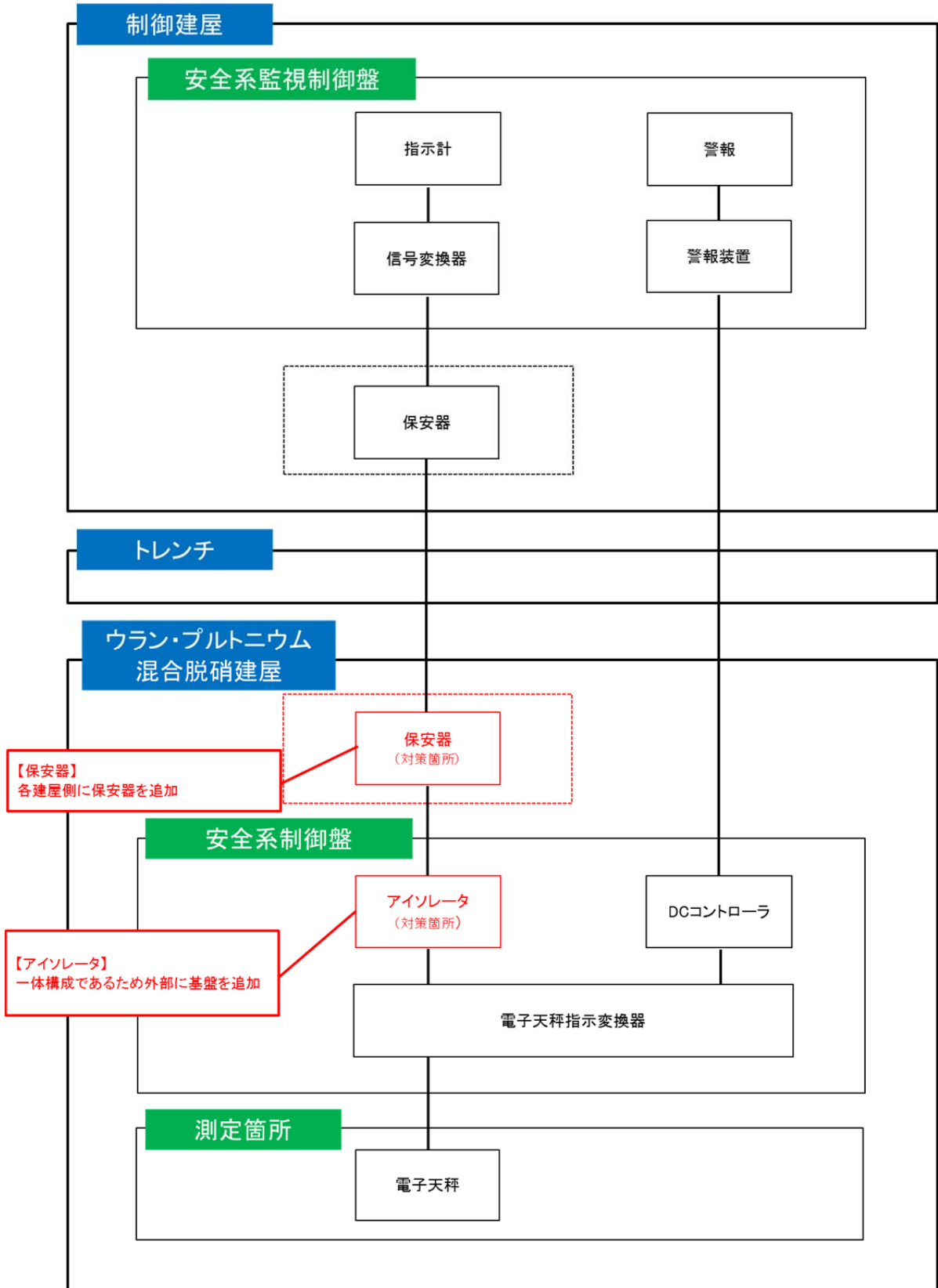


図 15-3 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に対する対策

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。

