

発電用原子炉施設故障等報告書

令和 2年 7月 22日

東京電力ホールディングス株式会社

件名	福島第一原子力発電所1～3号機 窒素ガス分離装置（B）窒素濃度指示不良に伴う運転上の制限からの逸脱について
事象発生の日時	令和2年5月1日 13時30分 （福島第一規則第18条第5号に該当すると判断した日時）
事象発生の場所	福島第一原子力発電所1～3号機
事象発生の発電用原子炉施設名	原子炉格納容器内窒素封入設備 監視装置
事象の状況	<p>1. 事象発生時の状況</p> <p>(1) 事象発生時の状況</p> <p>令和2年4月24日、福島第一原子力発電所1～3号機において、原子炉格納容器内窒素封入設備（以下「窒素封入設備」という。）の窒素ガス分離装置^{*1}を（B/C）運転から（A/C）運転へ定例切替を行い、窒素ガス分離装置（B）を停止した。</p> <p>当直員が、免震重要棟にある集中監視室の監視画面を確認したところ、窒素ガス分離装置（B）出口流量の指示値が低下しないことを確認した。なお、現場で対応していた当直員が、窒素ガス分離装置（B）本体に取り付けられている出口流量計の指示値は0 m³/hになっていることを確認した。</p> <p>その後、現場で対応していた当直員が、窒素ガス分離装置（B）が設置されている現場コンテナ内を確認したところ、窒素ガス分離装置（B）の本体装置（以下「当該装置」という。）にある表示画面にて、窒素ガス分離装置（B）の運転状態を示すパラメータを集中監視室へ伝送する制御装置（以下「当該制御装置」という。）の電源異常を示す「FX3U-4AD 電源異常」警報（以下「当該警報」という。）が、4月21日2時14分に発生していたこと、また、当該制御装置の正面にある「24V」ランプ（電源が正常であることを示す）表示が消灯していることを確認した。</p> <p>集中監視室にいる当直員が、監視画面にて窒素ガス分離装置（B）の関連パラメータを確認したところ、当該警報が発生した以降、出口流量、出口圧力、窒素濃度の指示値が一定（直線状態）となっており、窒素ガス分離装置運転中に見られる指示値の変動（ゆらぎ）がないことを確認した。なお、当該警報が発生した際、集中監視室にある窒素ガス分離装置（B）の故障を示す一括警報は発報していなかった。</p> <p>当直長は、当該警報が発生した4月21日2時14分から、窒素ガス分離装置（A/C）運転への切り替えが完了した4月24日10時51分までの期間において、原子炉格納容器へ封入する窒素の濃度が99%以上を満足していることが確認できない状態であったことから、実施計画Ⅲ第1編第25条第2項（3）で要求される事項「封入する窒素の濃度が99%以上であることを毎日1回確認する」ことを満足できていないとして、4月24日13時40分に「運転上の制限を満足していない」と判断した。</p> <p>また、当直長は、窒素ガス分離装置を（A/C）運転へ切り替え後、機器の状態や関連パラメータ等の確認により、原子炉格納容器へ封入する窒素の濃度が99%以上を満足していることが確認できたことから、同日同時刻に「運転上の制限を満足している」状態であると判断した。</p> <p>当該警報が発生してから、窒素ガス分離装置を（A/C）運転へ切り替えるまでの間、窒素ガス分離装置（B）は運転を継続していたが、その期間においても、1～3号機原子炉格納容器内の水素濃度は運転上の制限である「2.5%（管理値^{*2}）以下」で推移しており、集中監視室の監視画面に表示される1号機原子炉格納容器内の酸素濃度にも有意な変化はなかった。</p> <p>設備保全箇所の社員が、現場コンテナ内の状況を確認したところ、当該制御装置に黒色の粉が付着していることを確認した。また、黒色の粉は、当該制御装置を格納している当該装置内の広範囲に堆積していることを確認した。</p> <p>なお、本事象による外部への放射性物質の影響はなかった。</p> <p>※1：窒素ガス分離装置は、外気から取り入れた空気を圧縮し、活性炭（大きさは米粒大）を充填した活性炭槽及び吸着槽（2台）内を通して酸素を取り除き、高濃度の窒素ガスを精製するもので、3台設置（A/B/C）されており、通常は2台運転としている。</p>

※2：原子炉格納容器ガス管理設備内での大気のインリークがある場合には、そのインリークを考慮した水素濃度の管理値を評価した上で、水素濃度が管理値以下であることを確認している。

(2) 法令報告判断までの経緯

本事象においては、当該制御装置に何らかの不具合が発生したことにより、集中監視室の監視画面にて窒素ガス分離装置（B）窒素濃度の指示値が不確かな状態となったが、窒素ガス分離装置（A/C）運転へ切り替えるまで、窒素ガス分離装置（B）は運転を継続していたことから、窒素ガス分離装置（B）の点検及び調査状況や性能確認等の結果を踏まえた上で、「発電用原子炉施設の故障」に該当するか判断すべきものと考えていた。

その後、法令上の解釈について規制当局へ確認した上で、社内関係者にて議論した結果、当該制御装置の不具合により、窒素ガス分離装置（B）窒素濃度の指示値が不確かな状態となったことが「発電用原子炉施設の故障」に該当するものとして、5月1日13時30分に福島第一規則第18条第5号の「発電用原子炉施設の故障（発電用原子炉施設の運転に及ぼす支障が軽微なものを除く。）により、運転上の制限を逸脱したとき」に該当すると判断した。

2. 応急処置の状況

(1) 運転中の窒素ガス分離装置の監視強化

本事象を受けて、運転中の窒素ガス分離装置（A/C）については、4月24日より以下の監視強化策を実施している。

a. 窒素ガス分離装置運転状態の確認

現場の巡視点検を1回/日以上で実施し、窒素ガス分離装置の運転状態や警報発生の有無、窒素ガス分離装置（A/C）本体装置内の異常の有無を確認する。

b. 窒素ガス分離装置関連パラメータの確認

集中監視室にある監視画面に窒素ガス分離装置の関連パラメータ（出口流量、出口圧力、窒素濃度/酸素濃度）のトレンドグラフを常時表示させ、指示値の変動が確認できる表示幅にて、指示値の有意な変動や運転状況に変化がないか確認する。

(2) 窒素ガス分離装置（A）に対する応急処置

窒素ガス分離装置（A）については、令和元年12月に現在の装置に交換しており、窒素ガス分離装置（B）と同一製品で交換時期も一緒である。これまで、窒素ガス分離装置（A）に機器等の異常は確認されていないが、念のため、5月1日に窒素ガス分離装置（A）を停止し、待機状態とした。

なお、現在の1～3号機窒素封入設備における総封入量が約66Nm³/hであるのに対し、窒素ガス分離装置（C）1台の封入容量は約120Nm³/hであることから、1台運転でも必要な窒素封入量は十分に確保できる。

また、窒素ガス分離装置（A）は待機状態としており、窒素ガス分離装置（C）に何らかの不具合が生じた場合には、窒素ガス分離装置（A）を速やかに起動することが可能である。

3. 状況調査結果

(1) 現地での調査

a. 当該装置の状況確認

当該装置の状況を確認したところ、装置内の広範囲に黒色の粉が堆積していること、また、当該制御装置の上面にも黒色の粉が付着していることを確認した。当該制御装置の上面には放熱用のスリット部（隙間）があることから、黒色の粉が装置内部に混入した可能性がある。

確認された黒色の粉は、当該装置で使用している活性炭の色と同色であったことから、活性炭槽または吸着槽内に充填されていた活性炭が何らかの要因で細粒化し、当該装置内にあるサイレンサ^{※3}から排出された可能性がある。

なお、活性炭が当該装置内にある機器や配管継手部などから漏れいたした痕跡は確認されなかった。

※3：当該装置内の排気音を消音するために設置している。

事象の状況

事象の状況

b. 活性炭槽の状況確認

活性炭槽内の状況を確認したところ、活性炭の充填状況に異常はなく、細粒化した形跡も確認されなかった。また、活性炭槽内に残圧が残っている状況で、活性炭槽の下流側にあるブロー弁を開けたところ、黒色の粉は排出されなかった。

以上のことから、当該装置に堆積していた黒色の粉は、活性炭槽内の活性炭が細粒化したものではないと判断した。

c. フィルタの状況確認

吸着槽の下流側にあるフィルタの状況を確認したところ、フィルタの外側には黒色の粉が付着していたが、フィルタの内側には確認されなかったことから、黒色の粉はフィルタにより捕集できており、フィルタから下流側には流出していない。

d. 当該装置の警報伝送状況確認

当該警報が発生した際に集中監視室にある窒素ガス分離装置（B）故障の一括警報は発報しなかったことから、設備保全箇所の当社社員が、当該装置の画面に表示される警報の集中監視室への伝送状況を確認したところ、集中監視室に伝送されるのは運転停止に関連する「窒素純度異常」警報のみであり、それ以外の警報は集中監視室に伝送されない設計としていた。

(2) 発電所構外での調査

当該装置については、装置内の広範囲に黒色の粉が堆積している状態であること、発電所内では環境的な制限もあることから、作業の効率性等を考慮して、5月3日に窒素ガス分離装置（B）のコンテナごと発電所構外にある納入メーカーの敷地内に搬出し、再現性確認や不具合箇所の特定、原因調査を行うこととした。

a. 再現性確認

発電所から搬出した状態のまま、窒素ガス分離装置（B）を運転して再現性確認したところ、当該装置内にあるサイレンサから黒色の粉が排出された。

また、サイレンサから黒色の粉が排出された状態においても、窒素ガス分離装置（B）は窒素の濃度が99%以上のガスを精製できた。

以上のことから、当該制御装置に不具合が発生した4月21日以降の窒素ガス分離装置（B）運転中において、原子炉格納容器内へ封入する窒素の濃度は99%以上を満足している状態であり、原子炉格納容器内の不活性雰囲気維持機能は確保されていたと考える。

b. 当該制御装置の状態確認

窒素ガス分離装置（B）の電源を入れて当該制御装置の状態を確認したところ、当該制御装置の正面にある「24V」ランプ表示は点灯せず、当該装置の表示画面に当該警報が発生した。

その後、当該制御装置を新品に交換したところ、当該警報は発生せず、「24V」ランプ表示は正常に点灯した。

また、当該制御装置を新品に交換した状態で「a. 再現性確認」に合わせて、窒素ガス分離装置（B）運転中に当該制御装置の関連パラメータを確認したところ、関連パラメータは正常な値を示していた。なお、他の制御装置にも警報発生等の異常はなかった。

c. 吸着槽の状況確認

吸着槽内の状況を確認したところ、2台ある吸着槽のうち1台（吸着槽1）について、内部の活性炭が充填時より減少しており、一部が細粒化した状態となっていた。また、もう1台（吸着槽2）については、活性炭の充填状況に異常はなく、細粒化した形跡もなかった。

以上のことから、当該装置の吸着槽1内に充填されていた活性炭（以下、「当該活性炭」という。）が何らかの要因で細粒化し、サイレンサから排出されて当該装置内に飛散し、堆積したものと推定した。

また、その一部が当該制御装置内部に混入したことで、当該制御装置に何らかの不具合が発生し、当該制御装置から伝送される関連パラメータが集中監視室の監視画面に正しく伝送されなくなったものと推定した。

事 象 の 原 因

1. 窒素ガス分離装置（B）の不具合原因調査結果

1-1. 当該制御装置の不具合原因調査結果

当該制御装置に不具合が発生した原因について、要因分析表に基づき調査した結果、以下のことを確認した。

(1) 当該制御装置へ供給される電圧の異常

当該制御装置で電源異常を示す警報が発生したが、当該装置から供給されている他の制御装置の電源は正常であったことから、当該制御装置へ供給される電圧に異常はなかったと判断した。

(2) 当該制御装置の内部要因

a. 電源端子の接触不良

当該制御装置の電源端子に接触不良がないか確認したところ、端子の緩みはなく、接触不良等の異常はなかった。（令和2年5月6日に確認）

b. 電源ケーブルの断線

当該制御装置の電源ケーブルに断線がないか導通確認したところ、通電状態にあり、断線はなかった。（令和2年5月6日に確認）

c. 制御装置内部の不具合

当該装置内にある制御装置の製造メーカーに当該制御装置を引き渡し、制御装置内部に異常がないか確認したところ、当該制御装置の内部に黒色の粉が付着していることを確認した。また、当該制御装置内部に断線がないか導通確認をしたところ、24V入力電源回路に使用しているヒューズが開放していた。なお、制御装置内部に塩害や腐食等の異常はなかった。（令和2年5月15日に確認）

以上のことから、細粒化した当該活性炭が当該装置内に飛散し、その一部が当該制御装置上面のスリット部から制御装置内部に混入したことにより、24V入力電源回路が短絡してヒューズが開放したため、当該制御装置への電源供給が喪失し、電源異常を示す警報が発生した。

当該制御装置への電源供給が喪失したことにより、当該装置内の計器からの信号をシーケンサに伝送できなくなり、その時点の計器の信号をシーケンサ内で保持したまま出力される状態となったため、集中監視室の監視画面に表示される関連パラメータの指示値が一定（直線状態）となったと推定した。

1-2. 当該活性炭が細粒化した原因調査結果

当該活性炭が細粒化した原因について、要因分析表に基づき調査した結果、以下のことを確認した。

(1) 当該活性炭の減少

a. 当該活性炭の充填高さの低下

吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認したところ、吸着槽1に充填されている当該活性炭の高さがフランジ上面から230mm下にあり、製造メーカー工場出荷時の基準値（フランジ上面から40mm下）よりも190mm低下している状況であった。また、吸着槽内で活性炭を拘束させるために取り付けられている上部分散板と上部スポンジが斜めに傾いた状態であった。

なお、吸着槽2に充填されていた活性炭の高さはフランジ上面から57mm下であったが、上部分散板と上部スポンジにより活性炭は拘束された状態であった。（令和2年5月7日に確認）

b. 吸着槽1の変形・損傷

吸着槽1の外観及び内部点検を行ったところ、吸着槽1の外観及び内部にある支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）に変形・損傷等の異常はなかった。

また、当該活性炭が排出されたサイレンサの内部点検も行ったところ、サイレンサ内部にある不織布全体に細粒化した活性炭が付着していたことから、不織布で捕集できなかった当該活性炭がサイレンサより排出されたものと推定した。（令和2年5月21日に確認）

(2) 当該活性炭の製品不良

a. 当該活性炭の硬度及び成分不良

当該活性炭の硬度を製造時の試験データにより確認したところ、メーカ基準の硬度を満足していた。

また、当該活性炭の成分分析を行い、別の検査済みの活性炭と比較した結果、当該活性炭の成分に差異はなかったことから、当該活性炭の成分不良はない。

b. 吸着槽 1 及び支持構造物の製造不良

吸着槽は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、製造記録等がないことから、吸着槽 1 の内径及び吸着槽内で活性炭を拘束させるために取り付けられている支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）の寸法測定を行ったところ、設計図面と測定した寸法に有意な差はなかったことから、製造不良はない。

（令和 2 年 5 月 2 1 日に確認）

(3) 過去の類似事象

窒素ガス分離装置（B）は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、他にも使用実績があることから、過去に活性炭が細粒化した事象がないか製造メーカに確認したところ、吸着槽 1 と同じ型式の吸着槽において、活性炭が細粒化する事象が発生していた。

過去の細粒化事象では、以下のような経緯で活性炭が細粒化することが分かっている。

- ・活性炭の粒は円柱状であり粒同士に不均一な隙間が生じるため、吸着槽内に活性炭を充填する際には、パイプレータを用いて活性炭を均一にさせながら、フランジ上面から 4 0 mm 下まで活性炭を充填する。
- ・活性炭の充填後、その上に伸縮性のある上部スポンジ、さらにその上に上部分散板を置き、吸着槽の上蓋を取り付けることで充填した活性炭を拘束する。
- ・活性炭の充填状況は粒形状によってばらつきが生じるため、それにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じる。
- ・その後の輸送時及び据付時の振動や運転時の流体の流れによって、吸着槽内の空隙割合が低下し、活性炭の充填高さが低下する。
- ・活性炭の充填高さが低下すると、フランジ上面に置いてある上部スポンジが膨らむが、上部スポンジが完全に膨らんだ場合の寸法は 5 0 mm であり、それ以上に活性炭の充填高さが低下が進行すると、上部分散板と上部スポンジによる活性炭の拘束力が低下する。
- ・活性炭の拘束力が低下すると、吸着槽内の上部にある活性炭に隙間ができてフレッシング※4が発生し、活性炭が細粒化する。

※4：フレッシングとは、接触する二物体間に微小な往復滑りが繰り返し作用し、擦り合って表面損傷を起こすことである。

上記の対策として、吸着槽に活性炭を充填した後、製造メーカの工場です一定時間の試運転を行い、その後に吸着槽の上蓋を取り外して活性炭の充填状況を確認した上で、活性炭が低下していた場合には再充填してから出荷することとしていた。

(4) 当該活性炭の細粒化時期

a. 当該活性炭充填時

(a) 当該活性炭充填時の異物混入

吸着槽 1 に当該活性炭を充填する際に異物が混入した可能性がないか充填時の作業記録を確認したところ、定められた基準の活性炭が充填されており、基準の違う活性炭が混入した形跡はない。

また、充填時の使用工具を確認したところ、充填作業に用いる工具は充填時に活性炭を均一化させるためのパイプレータだけであり、パイプレータに欠損等の異常はなく、充填時に活性炭以外の異物が混入した形跡はない。

なお、「(1) 当該活性炭の減少」調査において、吸着槽 1 内及び当該活性炭を確認した際、異物がないことを確認している。

(b) 当該活性炭充填時の作業間違い

吸着槽 1 に当該活性炭を充填する際に、定められた手順で作業を行っているか充填時の作業記録を確認したところ、製造メーカで定める手順に基づき、必要な力量を満たした者が充填作業を実施しており、活性炭の充填高さは基準値（4 0 mm）

を満足していた。

また、吸着槽内で活性炭を拘束させるための支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）の取り付け状況を確認したところ、設計図面通りの支持構造物が取り付けられていたことから、充填時の作業間違いはない。

b. 窒素ガス分離装置（B）出荷時の充填不足

窒素ガス分離装置（B）出荷時の状況を確認したところ、発電所構内へ出荷する前に製造メーカーの工場にて窒素ガス分離装置（B）の試運転を約20時間実施しており、試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していた。

その結果、活性炭の充填高さが若干低下していたことから、活性炭の充填高さがメーカ基準値を満足するよう活性炭を補充していた。

なお、「（3）過去の類似事象」調査の結果から、充填時における活性炭の粒形状のばらつきにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じ、輸送時及び据付時の振動もしくは運転時の流体の流れの影響等によって吸着槽内の空隙割合が低下して、活性炭の充填高さが低下することが分かっている。このため、活性炭の充填高さの低下が十分小さくなるまでは、試運転及び活性炭の補充を繰り返し行う必要があったと考える。

c. 窒素ガス分離装置（B）輸送中及び据付時における当該活性炭の充填高さの低下

窒素ガス分離装置（B）の輸送中及び発電所構内へ輸送した後の据付時における振動によって、当該活性炭の充填高さが低下した可能性がないか確認したところ、窒素ガス分離装置（B）の吸着槽1と一緒に輸送・据付を行った吸着槽2に活性炭の充填高さの低下は確認されていないことから、可能性は低いと考えられる。

ただし、窒素ガス分離装置（B）の据付後や試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していないため、窒素ガス分離装置（B）輸送中及び据付時の振動によって充填高さが低下した可能性は否定できない。

d. 窒素ガス分離装置（B）運転時における当該活性炭の充填高さの低下

運転時の過流量によって当該活性炭の充填高さが低下した可能性がないか、窒素ガス分離装置（B）を運転確認したところ、吸着槽1・2における運転時の圧力にばらつきはなく、切替弁の動作不良はなかったことから、運転時の過流量によって充填高さが低下した可能性は低いと考えられる。（令和2年5月6日に確認）

ただし、窒素ガス分離装置（B）の運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していないため、窒素ガス分離装置（B）運転時の流体の流れによって充填高さが低下した可能性は否定できない。

以上のことから、吸着槽1の当該活性炭の充填高さが低下した時期は不明であるが、窒素ガス分離装置（B）出荷時において、試運転と活性炭の補充を繰り返し行い、活性炭の充填高さの低下を十分小さくすることや、窒素ガス分離装置（B）据付及び試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認することで、本事象の発生を防止することができたと考えられる。

2. 当該警報が集中監視室に伝送されなかった原因調査結果

当該警報が集中監視室に伝送されなかったことから、窒素ガス分離装置（B）の設計仕様について調査した結果、以下のことを確認した。

- ・窒素ガス分離装置は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、窒素ガス分離装置の運転停止に直接関係のない警報については、監視室等へは伝送されない設計仕様としていた。
- ・窒素ガス分離装置（B）については、令和元年12月に現在の装置に交換しているが、それまで使用していた装置は約8年の使用実績があり、その間に当該装置において警報が発生するような不具合はなかったため、現在の装置に交換する際にも前回の設計仕様を踏襲した。

3. 推定原因

原因調査の結果、本事象に至った原因は以下の通りと推定した。

（1）当該活性炭が細粒化した原因

- ①窒素ガス分離装置（B）の輸送時及び据付時の振動もしくは運転時の流体の流れによって、吸着槽1内における当該活性炭の空隙割合が低下した。
- ②吸着槽1内の空隙割合の低下によって、当該活性炭の充填高さが低下し、上部分散板と上部スポンジによる当該活性炭の拘束力が低下した。

	<p>③拘束力の低下によって、吸着槽 1 の上部にある当該活性炭に隙間ができ、窒素ガス分離装置（B）運転中の吸着槽の自動切り替え動作^{※5}によって、フレッティングが発生して当該活性炭が細粒化した。</p> <p>※5：窒素ガス分離装置の運転中は吸着槽 1・2 が一定間隔（約 40 秒）で自動的に切り替わる。吸着槽には一定時間使用後に窒素が分離された空気を排出する工程があり、その排出工程において、サイレンサから窒素が除かれた空気が排出される。片方の吸着槽が排出工程中は、もう片方の吸着槽にて窒素分離工程が行われる。</p> <p>(2) 当該制御装置に電源異常が発生した原因</p> <p>①細粒化した当該活性炭が窒素ガス分離装置（B）運転中にサイレンサから排出され、当該装置内に飛散・堆積した。</p> <p>②飛散した当該活性炭の一部が当該制御装置内部にも混入し、24V 入力電源回路に短絡が発生してヒューズが開放したため、当該制御装置への電源供給が喪失し、電源異常を示す警報が発生した。</p> <p>③当該制御装置の電源異常により、当該装置内の計器信号をシーケンサに伝送できなくなり、シーケンサ内で保持したままの計器信号が出力されて、集中監視室の監視画面に表示される関連パラメータの指示値が一定（直線状態）となった。</p> <p>(3) 当該警報が集中監視室に伝送されなかった原因 当該警報が集中監視室に伝送されない設計仕様としていたため、当該制御装置に電源異常が発生していることを検知することができなかった。</p>
保護装置の種類及び動作状況	なし
放射能の影響	なし
被害者	なし
他に及ぼした害	なし
復旧の日時	令和2年7月13日11時05分 (窒素ガス分離装置（B）を運転再開した日時)
再発防止対策	<p>本事象について以下のとおり再発防止対策を行う。</p> <p>(1) 活性炭の細粒化に対する対策 今後、活性炭がサイレンサから排出される事象が発生した場合には、吸着槽の上蓋を取り外して活性炭の充填状況を確認した上で、活性炭が低下していた場合には、メーカ基準値（40mm）まで活性炭を補充する。 なお、窒素ガス分離装置を新たに交換する場合には、窒素ガス分離装置の製造メーカー工場にて、出荷前に吸着槽に充填されている活性炭の充填高さの低下が十分小さくなるまで、試運転及び活性炭の補充を繰り返し実施する。</p> <p>(2) 制御装置の電源異常に対する対策</p> <p>a. 暫定的な対策 今後、活性炭がサイレンサから排出された場合に当該装置へ影響を及ぼさないよう、サイレンサを移設し、サイレンサからの排気を当該装置外（現場コンテナ内）に排出する。（令和2年7月3日に実施済み）</p> <p>b. 恒久的な対策 サイレンサから排出された活性炭が現場コンテナ内に飛散・堆積しないよう、サイレンサの排気を窒素ガス分離装置（B）の現場コンテナ外に排出できるよう改造する。（令和2年12月頃までに実施予定）</p> <p>(3) 集中監視室に警報が伝送されなかったことの対策 当該警報は集中監視室に伝送されない設計仕様となっているが、当該装置の異常を早期に検知するという観点から、当該装置の画面に表示される全ての警報を免震重要棟の集中監視室に伝送し、警報が発報されるよう改造する。（令和2年7月3日に実施）</p>

福島第一原子力発電所1～3号機
窒素ガス分離装置（B）窒素濃度指示不良
に伴う運転上の制限からの逸脱について

令和2年 7月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 件 名	1
2. 事象発生の日時	1
3. 事象発生 of 発電用原子炉施設	1
4. 事象発生時の状況	1
5. 応急処置の状況	2
6. 状況調査結果	3
7. 窒素ガス分離装置（B）の不具合原因調査結果	4
7-1. 当該制御装置の不具合原因調査結果	4
7-2. 当該活性炭が細粒化した原因調査結果	5
8. 当該警報が集中監視室に伝送されなかった原因調査結果	8
9. 推定原因	8
10. 対策	9
11. 添付資料	10

1. 件名

福島第一原子力発電所1～3号機

窒素ガス分離装置（B）窒素濃度指示不良に伴う運転上の制限からの逸脱について

2. 事象発生の日時

令和2年5月1日 13時30分

（福島第一規則第18条第5号に該当すると判断した日時）

3. 事象発生の発電用原子炉施設

原子炉格納容器内窒素封入設備 監視装置

4. 事象発生時の状況

（1）事象発生時の状況

令和2年4月24日、福島第一原子力発電所1～3号機において、原子炉格納容器内窒素封入設備（以下「窒素封入設備」という。）の窒素ガス分離装置^{*1}を（B/C）運転から（A/C）運転へ定例切替を行い、窒素ガス分離装置（B）を停止した。

当直員が、免震重要棟にある集中監視室の監視画面を確認したところ、窒素ガス分離装置（B）出口流量の指示値が低下しないことを確認した。なお、現場で対応していた当直員が、窒素ガス分離装置（B）本体に取り付けられている出口流量計の指示値は0m³/hになっていることを確認した。

その後、現場で対応していた当直員が、窒素ガス分離装置（B）が設置されている現場コンテナ内を確認したところ、窒素ガス分離装置（B）の本体装置（以下「当該装置」という。）にある表示画面にて、窒素ガス分離装置（B）の運転状態を示すパラメータを集中監視室へ伝送する制御装置（以下「当該制御装置」という。）の電源異常を示す「FX3U-4AD 電源異常」警報（以下「当該警報」という。）が、4月21日2時14分に発生していたこと、また、当該制御装置の正面にある「24V」ランプ（電源が正常であることを示す）表示が消灯していることを確認した。

集中監視室にいる当直員が、監視画面にて窒素ガス分離装置（B）の関連パラメータを確認したところ、当該警報が発生した以降、出口流量、出口圧力、窒素濃度の指示値が一定（直線状態）となっており、窒素ガス分離装置運転中に見られる指示値の変動（ゆらぎ）がないことを確認した。なお、当該警報が発生した際、集中監視室にある窒素ガス分離装置（B）の故障を示す一括警報は発報していなかった。

当直長は、当該警報が発生した4月21日2時14分から、窒素ガス分離装置（A/C）運転への切り替えが完了した4月24日10時51分までの期間において、原子炉格納容器へ封入する窒素の濃度が99%以上を満足していることが確認できない状態であったことから、実施計画Ⅲ第1編第25条第2項（3）で要求される事項「封入する窒素の濃度が99%以上であることを毎日1回確認する」ことを満足できていないとして、4月24日13時40分に「運転上の制限を満足していない」と判断した。

また、当直長は、窒素ガス分離装置を（A/C）運転へ切り替え後、機器の状態や関連パラメータ等の確認により、原子炉格納容器へ封入する窒素の濃度が99%以上を満足していることが確認できたことから、同日同時刻に「運転上の制限を満足している」状態にあると判断した。

当該警報が発生してから、窒素ガス分離装置を（A/C）運転へ切り替えるまでの間、窒素ガス分離装置（B）は運転を継続していたが、その期間においても、1～3号機原子炉格納容器内の水素濃度は運転上の制限である「2.5%（管理値^{*2}）以下」で推移し

ており、集中監視室の監視画面に表示される1号機原子炉格納容器内の酸素濃度にも有意な変化はなかった。

設備保全箇所の社員が、現場コンテナ内の状況を確認したところ、当該制御装置に黒色の粉が付着していることを確認した。また、黒色の粉は、当該制御装置を格納している当該装置内の広範囲に堆積していることを確認した。

なお、本事象による外部への放射性物質の影響はなかった。

※1：窒素ガス分離装置は、外気から取り入れた空気を圧縮し、活性炭（大きさは米粒大）を充填した活性炭槽及び吸着槽（2台）内を通して酸素を取り除き、高濃度の窒素ガスを精製するもので、3台設置（A/B/C）されており、通常は2台運転としている。

※2：原子炉格納容器ガス管理設備内での大気のインリークがある場合には、そのインリークを考慮した水素濃度の管理値を評価した上で、水素濃度が管理値以下であることを確認している。

（添付資料－1，2，3，4，5，6，7，8）

（2）法令報告判断までの経緯

本事象においては、当該制御装置に何らかの不具合が発生したことにより、集中監視室の監視画面にて窒素ガス分離装置（B）窒素濃度の指示値が不確かな状態となったが、窒素ガス分離装置（A/C）運転へ切り替えるまで、窒素ガス分離装置（B）は運転を継続していたことから、窒素ガス分離装置（B）の点検及び調査状況や性能確認等の結果を踏まえた上で、「発電用原子炉施設の故障」に該当するか判断すべきものと考えていた。

その後、法令上の解釈について規制当局へ確認した上で、社内関係者にて議論した結果、当該制御装置の不具合により、窒素ガス分離装置（B）窒素濃度の指示値が不確かな状態となったことが「発電用原子炉施設の故障」に該当するものとして、5月1日13時30分に福島第一規則第18条第5号の「発電用原子炉施設の故障（発電用原子炉施設の運転に及ぼす支障が軽微なものを除く。）により、運転上の制限を逸脱したとき」に該当すると判断した。

5. 応急処置の状況

（1）運転中の窒素ガス分離装置の監視強化

本事象を受けて、運転中の窒素ガス分離装置（A/C）については、4月24日より以下の監視強化策を実施している。

a. 窒素ガス分離装置運転状態の確認

現場の巡視点検を1回/日以上以上の頻度で実施し、窒素ガス分離装置の運転状態や警報発生の有無、窒素ガス分離装置（A/C）本体装置内の異常の有無を確認する。

b. 窒素ガス分離装置関連パラメータの確認

集中監視室にある監視画面に窒素ガス分離装置の関連パラメータ（出口流量、出口圧力、窒素濃度/酸素濃度）のトレンドグラフを常時表示させ、指示値の変動が確認できる表示幅にて、指示値の有意な変動や運転状況に変化がないか確認する。

（添付資料－1）

（2）窒素ガス分離装置（A）に対する応急処置

窒素ガス分離装置（A）については、令和元年12月に現在の装置に交換しており、窒素ガス分離装置（B）と同一製品で交換時期も一緒である。これまで、窒素ガス分離装置（A）に機器等の異常は確認されていないが、念のため、5月1日に窒素ガス分離装置

(A) を停止し、待機状態とした。

なお、現在の1～3号機窒素封入設備における総封入量が約66Nm³/hであるのに対し、窒素ガス分離装置(C)1台の封入容量は約120Nm³/hであることから、1台運転でも必要な窒素封入量は十分に確保できる。

また、窒素ガス分離装置(A)は待機状態としており、窒素ガス分離装置(C)に何らかの不具合が生じた場合には、窒素ガス分離装置(A)を速やかに起動することが可能である。

(添付資料-1, 4)

6. 状況調査結果

(1) 現地での調査

a. 当該装置の状況確認

当該装置の状況を確認したところ、装置内の広範囲に黒色の粉が堆積していること、また、当該制御装置の上面にも黒色の粉が付着していることを確認した。当該制御装置の上面には放熱用のスリット部(隙間)があることから、黒色の粉が装置内部に混入した可能性がある。

確認された黒色の粉は、当該装置で使用している活性炭の色と同色であったことから、活性炭槽または吸着槽内に充填されていた活性炭が何らかの要因で細粒化し、当該装置内にあるサイレンサ^{※3}から排出された可能性がある。

なお、活性炭が当該装置内にある機器や配管継手部などから漏えいした痕跡は確認されなかった。

※3：当該装置内の排気音を消音するために設置している。

b. 活性炭槽の状況確認

活性炭槽内の状況を確認したところ、活性炭の充填状況に異常はなく、細粒化した形跡も確認されなかった。また、活性炭槽内に残圧が残っている状況で、活性炭槽の下流側にあるブロー弁を開けたところ、黒色の粉は排出されなかった。

以上のことから、当該装置に堆積していた黒色の粉は、活性炭槽内の活性炭が細粒化したものではないと判断した。

c. フィルタの状況確認

吸着槽の下流側にあるフィルタの状況を確認したところ、フィルタの外側には黒色の粉が付着していたが、フィルタの内側には確認されなかったことから、黒色の粉はフィルタにより捕集できており、フィルタから下流側には流出していない。

(添付資料-9)

d. 当該装置の警報伝送状況確認

当該警報が発生した際に集中監視室にある窒素ガス分離装置(B)故障の一括警報は発報しなかったことから、設備保全箇所の当社社員が、当該装置の画面に表示される警報の集中監視室への伝送状況を確認したところ、集中監視室に伝送されるのは運転停止に関連する「窒素純度異常」警報のみであり、それ以外の警報は集中監視室に伝送されない設計としていた。

(2) 発電所構外での調査

当該装置については、装置内の広範囲に黒色の粉が堆積している状態であること、発電所内では環境的な制限もあることから、作業の効率性等を考慮して、5月3日に窒素ガス分離装置(B)のコンテナごと発電所構外にある納入メーカーの敷地内に搬出し、再現性確

認め不具合箇所の特定、原因調査を行うこととした。

a. 再現性確認

発電所から搬出した状態のまま、窒素ガス分離装置（B）を運転して再現性確認したところ、当該装置内にあるサイレンサから黒色の粉が排出された。

また、サイレンサから黒色の粉が排出された状態においても、窒素ガス分離装置（B）は窒素の濃度が99%以上のガスを精製できた。

以上のことから、当該制御装置に不具合が発生した4月21日以降の窒素ガス分離装置（B）運転中において、原子炉格納容器内へ封入する窒素の濃度は99%以上を満足している状態であり、原子炉格納容器内の不活性雰囲気維持機能は確保されていたと考える。

b. 当該制御装置の状態確認

窒素ガス分離装置（B）の電源を入れて当該制御装置の状態を確認したところ、当該制御装置の正面にある「24V」ランプ表示は点灯せず、当該装置の表示画面に当該警報が発生した。

その後、当該制御装置を新品に交換したところ、当該警報は発生せず、「24V」ランプ表示は正常に点灯した。

また、当該制御装置を新品に交換した状態で「a. 再現性確認」に合わせて、窒素ガス分離装置（B）運転中に当該制御装置の関連パラメータを確認したところ、関連パラメータは正常な値を示していた。なお、他の制御装置にも警報発生等の異常はなかった。

c. 吸着槽の状況確認

吸着槽内の状況を確認したところ、2台ある吸着槽のうち1台（吸着槽1）について、内部の活性炭が充填時より減少しており、一部が細粒化した状態となっていた。また、もう1台（吸着槽2）については、活性炭の充填状況に異常はなく、細粒化した形跡もなかった。

（添付資料－10）

以上のことから、当該装置の吸着槽1内に充填されていた活性炭（以下、「当該活性炭」という。）が何らかの要因で細粒化し、サイレンサから排出されて当該装置内に飛散し、堆積したものと推定した。

また、その一部が当該制御装置内部に混入したことで、当該制御装置に何らかの不具合が発生し、当該制御装置から伝送される関連パラメータが集中監視室の監視画面に正しく伝送されなくなったものと推定した。

7. 窒素ガス分離装置（B）の不具合原因調査結果

7-1. 当該制御装置の不具合原因調査結果

当該制御装置に不具合が発生した原因について、要因分析表に基づき調査した結果、以下のことを確認した。

（添付資料－11）

(1) 当該制御装置へ供給される電圧の異常

当該制御装置で電源異常を示す警報が発生したが、当該装置から供給されている他の制御装置の電源は正常であったことから、当該制御装置へ供給される電圧に異常はなかったと判断した。

(2) 当該制御装置の内部要因

a. 電源端子の接触不良

当該制御装置の電源端子に接触不良がないか確認したところ、端子の緩みはなく、接触不良等の異常はなかった。（令和2年5月6日に確認）

b. 電源ケーブルの断線

当該制御装置の電源ケーブルに断線がないか導通確認したところ、通電状態にあり、断線はなかった。（令和2年5月6日に確認）

c. 制御装置内部の不具合

当該装置内にある制御装置の製造メーカーに当該制御装置を引き渡し、制御装置内部に異常がないか確認したところ、当該制御装置の内部に黒色の粉が付着していることを確認した。また、当該制御装置内部に断線がないか導通確認をしたところ、24V入力電源回路に使用しているヒューズが開放していた。なお、制御装置内部に塩害や腐食等の異常はなかった。（令和2年5月15日に確認）

以上のことから、細粒化した当該活性炭が当該装置内に飛散し、その一部が当該制御装置上面のスリット部から制御装置内部に混入したことにより、24V入力電源回路が短絡してヒューズが開放したため、当該制御装置への電源供給が喪失し、電源異常を示す警報が発生した。

当該制御装置への電源供給が喪失したことにより、当該装置内の計器からの信号をシーケンサに伝送できなくなり、その時点の計器の信号をシーケンサ内で保持したまま出力される状態となったため、集中監視室の監視画面に表示される関連パラメータの指示値が一定（直線状態）となったと推定した。

（添付資料－12）

7-2. 当該活性炭が細粒化した原因調査結果

当該活性炭が細粒化した原因について、要因分析表に基づき調査した結果、以下のことを確認した。

（添付資料－11）

(1) 当該活性炭の減少

a. 当該活性炭の充填高さの低下

吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認したところ、吸着槽1に充填されている当該活性炭の高さがフランジ上面から230mm下にあり、製造メーカー工場出荷時の基準値（フランジ上面から40mm下）よりも190mm低下している状況であった。また、吸着槽内で活性炭を拘束させるために取り付けられている上部分散板と上部スポンジが斜めに傾いた状態であった。

なお、吸着槽2に充填されていた活性炭の高さはフランジ上面から57mm下であったが、上部分散板と上部スポンジにより活性炭は拘束された状態であった。（令和2年5月7日に確認）

（添付資料－13）

b. 吸着槽1の変形・損傷

吸着槽1の外観及び内部点検を行ったところ、吸着槽1の外観及び内部にある支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）に変形・損傷等の異常はなかった。

また、当該活性炭が排出されたサイレンサの内部点検も行ったところ、サイレンサ内部にある不織布全体に細粒化した活性炭が付着していたことから、不織布で捕集できなかった当該活性炭がサイレンサより排出されたものと推定した。（令和2年5月21日に確認）

（添付資料－14）

(2) 当該活性炭の製品不良

a. 当該活性炭の硬度及び成分不良

当該活性炭の硬度を製造時の試験データにより確認したところ、メーカー基準の硬度を満足していた。

また、当該活性炭の成分分析を行い、別の検査済みの活性炭と比較した結果、当該活性炭の成分に差異はなかったことから、当該活性炭の成分不良はない。

（添付資料－15）

b. 吸着槽1及び支持構造物の製造不良

吸着槽は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、製造記録等がないことから、吸着槽1の内径及び吸着槽内で活性炭を拘束させるために取り付けられている支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）の寸法測定を行ったところ、設計図面と測定した寸法に有意な差はなかったことから、製造不良はない。（令和2年5月21日に確認）

（添付資料－16）

(3) 過去の類似事象

窒素ガス分離装置（B）は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、他でも使用実績があることから、過去に活性炭が細粒化した事象がないか製造メーカーに確認したところ、吸着槽1と同じ型式の吸着槽において、活性炭が細粒化する事象が発生していた。過去の細粒化事象では、以下のような経緯で活性炭が細粒化することが分かっている。

- 活性炭の粒は円柱状であり粒同士に不均一な隙間が生じるため、吸着槽内に活性炭を充填する際には、バイブレータを用いて活性炭を均一にさせながら、フランジ上面から40mm下まで活性炭を充填する。
- 活性炭の充填後、その上に伸縮性のある上部スポンジ、さらにその上に上部分散板を置き、吸着槽の上蓋を取り付けることで充填した活性炭を拘束する。
- 活性炭の充填状況は粒形状によってばらつきが生じるため、それにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じる。
- その後の輸送時及び据付時の振動や運転時の流体の流れによって、吸着槽内の空隙割合が低下し、活性炭の充填高さが低下する。
- 活性炭の充填高さが低下すると、フランジ上面に置いてある上部スポンジが膨らむが、上部スポンジが完全に膨らんだ場合の寸法は50mmであり、それ以上に活性炭の充填高さが低下が進行すると、上部分散板と上部スポンジによる活性炭の拘束力が低下する。

- 活性炭の拘束力が低下すると、吸着槽内の上部にある活性炭に隙間ができてフレッシング※4が発生し、活性炭が細粒化する。

※4：フレッシングとは、接触する二物体間に微小な往復滑りが繰り返して作用し、擦り合って表面損傷を起こすことである。

(添付資料－17)

上記の対策として、吸着槽に活性炭を充填した後、製造メーカーの工場にて一定時間の試運転を行い、その後に吸着槽の上蓋を取り外して活性炭の充填状況を確認した上で、活性炭が低下していた場合には再充填してから出荷することとしていた。

(4) 当該活性炭の細粒化時期

a. 当該活性炭充填時

(a) 当該活性炭充填時の異物混入

吸着槽1に当該活性炭を充填する際に異物が混入した可能性がないか充填時の作業記録を確認したところ、定められた基準の活性炭が充填されており、基準の違う活性炭が混入した形跡はない。

また、充填時の使用工具を確認したところ、充填作業に用いる工具は充填時に活性炭を均一化させるためのバイブレータだけであり、バイブレータに欠損等の異常はなく、充填時に活性炭以外の異物が混入した形跡はない。

なお、「(1) 当該活性炭の減少」調査において、吸着槽1内及び当該活性炭を確認した際、異物がないことを確認している。

(b) 当該活性炭充填時の作業間違い

吸着槽1に当該活性炭を充填する際に、定められた手順で作業を行っているか充填時の作業記録を確認したところ、製造メーカーで定める手順に基づき、必要な力量を満たした者が充填作業を実施しており、活性炭の充填高さは基準値(40mm)を満足していた。

また、吸着槽内で活性炭を拘束させるための支持構造物(上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ)の取り付け状況を確認したところ、設計図面通りの支持構造物が取り付けられていたことから、充填時の作業間違いはない。

(添付資料－18)

b. 窒素ガス分離装置(B) 出荷時の充填不足

窒素ガス分離装置(B) 出荷時の状況を確認したところ、発電所構内へ出荷する前に製造メーカーの工場にて窒素ガス分離装置(B)の試運転を約20時間実施しており、試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していた。

その結果、活性炭の充填高さが若干低下していたことから、活性炭の充填高さがメーカー基準値を満足するよう活性炭を補充していた。

なお、「(3) 過去の類似事象」調査の結果から、充填時における活性炭の粒形状のばらつきにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じ、輸送時及び据付時の振動もしくは運転時の流体の流れの影響等によって吸着槽内の空隙割合が低下して、活性炭の充填高さが低下することが分かっている。このため、活性炭の充填高さの低下が十分小さくなるまでは、試運転及び活性炭の補充を繰り返し行う必要があったと考える。

(添付資料－18)

c. 窒素ガス分離装置（B）輸送中及び据付時における当該活性炭の充填高さの低下
窒素ガス分離装置（B）の輸送中及び発電所構内へ輸送した後の据付時における振動によって、当該活性炭の充填高さが低下した可能性がないか確認したところ、窒素ガス分離装置（B）の吸着槽1と一緒に輸送・据付を行った吸着槽2に活性炭の充填高さの低下は確認されていないことから、可能性は低いと考えられる。

ただし、窒素ガス分離装置（B）の据付後や試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していないため、窒素ガス分離装置（B）輸送中及び据付時の振動によって充填高さが低下した可能性は否定できない。

d. 窒素ガス分離装置（B）運転時における当該活性炭の充填高さの低下

運転時の過流量によって当該活性炭の充填高さが低下した可能性がないか、窒素ガス分離装置（B）を運転確認したところ、吸着槽1・2における運転時の圧力にばらつきはなく、切替弁の動作不良はなかったことから、運転時の過流量によって充填高さが低下した可能性は低いと考えられる。（令和2年5月6日に確認）

ただし、窒素ガス分離装置（B）の運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していないため、窒素ガス分離装置（B）運転時の流体の流れによって充填高さが低下した可能性は否定できない。

（添付資料－19）

以上のことから、吸着槽1の当該活性炭の充填高さが低下した時期は不明であるが、窒素ガス分離装置（B）出荷時において、試運転と活性炭の補充を繰り返し行い、活性炭の充填高さの低下を十分小さくすることや、窒素ガス分離装置（B）据付及び試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認することで、本事象の発生を防止することができたと考えられる。

8. 当該警報が集中監視室に伝送されなかった原因調査結果

当該警報が集中監視室に伝送されなかったことから、窒素ガス分離装置（B）の設計仕様について調査した結果、以下のことを確認した。

- ・窒素ガス分離装置は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、窒素ガス分離装置の運転停止に直接関係のない警報については、監視室等へは伝送されない設計仕様としていた。
- ・窒素ガス分離装置（B）については、令和元年12月に現在の装置に交換しているが、それまで使用していた装置は約8年の使用実績があり、その間に当該装置において警報が発生するような不具合はなかったため、現在の装置に交換する際にも前回の設計仕様を踏襲した。

9. 推定原因

原因調査の結果、本事象に至った原因は以下の通りと推定した。

（1）当該活性炭が細粒化した原因

- ①窒素ガス分離装置（B）の輸送時及び据付時の振動もしくは運転時の流体の流れによって、吸着槽1内における当該活性炭の空隙割合が低下した。
- ②吸着槽1内の空隙割合の低下によって、当該活性炭の充填高さが低下し、上部分散板と上部スポンジによる当該活性炭の拘束力が低下した。
- ③拘束力の低下によって、吸着槽1の上部にある当該活性炭に隙間ができ、窒素ガス分離装置（B）運転中の吸着槽の自動切り替え動作^{*5}によって、フレットングが発生し

て当該活性炭が細粒化した。

※5：窒素ガス分離装置の運転中は吸着槽1・2が一定間隔（約40秒）で自動的に切り替わる。吸着槽には一定時間使用後に窒素が分離された空気を排出する工程があり、その排出工程において、サイレンサから窒素が除かれた空気が排出される。片方の吸着槽が排出工程中は、もう片方の吸着槽にて窒素分離工程が行われる。

(2) 当該制御装置に電源異常が発生した原因

- ①細粒化した当該活性炭が窒素ガス分離装置（B）運転中にサイレンサから排出され、当該装置内に飛散・堆積した。
- ②飛散した当該活性炭の一部が当該制御装置内部にも混入し、24V入力電源回路に短絡が発生してヒューズが開放したため、当該制御装置への電源供給が喪失し、電源異常を示す警報が発生した。
- ③当該制御装置の電源異常により、当該装置内の計器信号をシーケンサに伝送できなくなり、シーケンサ内で保持したままの計器信号が出力されて、集中監視室の監視画面に表示される関連パラメータの指示値が一定（直線状態）となった。

(3) 当該警報が集中監視室に伝送されなかった原因

当該警報が集中監視室に伝送されない設計仕様としていたため、当該制御装置に電源異常が発生していることを検知することができなかった。

10. 対策

本事象について以下のとおり再発防止対策を行う。

(1) 活性炭の細粒化に対する対策

今後、活性炭がサイレンサから排出される事象が発生した場合には、吸着槽の上蓋を取り外して活性炭の充填状況を確認した上で、活性炭が低下していた場合には、メーカー基準値（40mm）まで活性炭を補充する。

なお、窒素ガス分離装置を新たに交換する場合には、窒素ガス分離装置の製造メーカー工場にて、出荷前に吸着槽に充填されている活性炭の充填高さの低下が十分小さくなるまで、試運転及び活性炭の補充を繰り返し実施する。

(2) 制御装置の電源異常に対する対策

a. 暫定的な対策

今後、活性炭がサイレンサから排出された場合に当該装置へ影響を及ぼさないよう、サイレンサを移設し、サイレンサからの排気を当該装置外（現場コンテナ内）に排出する。（令和2年7月3日に実施済み）

b. 恒久的な対策

サイレンサから排出された活性炭が現場コンテナ内に飛散・堆積しないよう、サイレンサの排気を窒素ガス分離装置（B）の現場コンテナ外に排出できるよう改造する。（令和2年12月頃までに実施予定）

(3) 集中監視室に警報が伝送されなかったことへの対策

当該警報は集中監視室に伝送されない設計仕様となっているが、当該装置の異常を早期に検知するという観点から、当該装置の画面に表示される全ての警報を免震重要棟の集中監視室に伝送し、警報が発報されるよう改造する。（令和2年7月3日に実施）

（添付資料-20）

上記（１）～（３）の対策のうち、「（２）b. 恒久的な対策」以外の対策について実施した後、令和２年６月３０日に窒素ガス分離装置（Ｂ）を発電所構内に輸送・据付し、令和２年７月３日から１０日にかけて試運転を実施した。

その後、令和２年７月１３日に窒素ガス分離装置（Ｂ）を復旧するとともに、令和２年７月１３日に窒素ガス分離装置（Ｃ）１台運転から（Ｂ／Ｃ）２台運転に切り替えた。

なお、窒素ガス分離装置（Ｂ）の据付及び試運転後に当該活性炭の充填状況を確認した結果、活性炭の充填高さは基準値を満足していた。

窒素ガス分離装置（Ａ）については、今後、吸着槽内の活性炭の状況を点検するとともに、窒素ガス分離装置（Ｂ）と同様の対策を講じる。（対策（２）b. 以外は令和２年８月頃まで、対策（２）b. は令和２年１２月頃までに実施予定）

11. 添付資料

- 添付資料－１ 時系列
- 添付資料－２ 事象発生時の窒素ガス分離装置関連パラメータ
- 添付資料－３ 事象発生場所
- 添付資料－４ 窒素封入設備系統概要図
- 添付資料－５ 当該装置概略図
- 添付資料－６ 集中監視室へ伝送している窒素封入設備関連パラメータ
- 添付資料－７ 窒素ガス分離装置（Ｂ）現場状況写真
- 添付資料－８ モニタリングポストにおける空気中の放射線量の測定結果
（令和２年４月１７日～４月３０日）
- 添付資料－９ 窒素ガス分離装置（Ｂ）現地調査結果
- 添付資料－１０ 窒素ガス分離装置（Ｂ）発電所構外調査結果
- 添付資料－１１ 窒素ガス分離装置（Ｂ）窒素濃度指示不具合事象に関する要因分析表
- 添付資料－１２ 当該制御装置の点検結果
- 添付資料－１３ 当該活性炭の充填状況確認結果
- 添付資料－１４ 吸着槽１及びサイレンサの外観・内部点検結果
- 添付資料－１５ 当該活性炭の硬度及び成分分析結果
- 添付資料－１６ 吸着槽１及び支持構造物の寸法測定結果
- 添付資料－１７ 活性炭の細粒化メカニズム
- 添付資料－１８ 当該活性炭充填時及び窒素ガス分離装置（Ｂ）出荷時の作業記録
- 添付資料－１９ 窒素ガス分離装置（Ｂ）運転確認結果
- 添付資料－２０ 窒素ガス分離装置（Ｂ）対策実施状況

以上

時系列

令和2年4月24日

9時52分 窒素ガス分離装置 (B/C) 運転から (A/C) 運転に切替開始
 10時51分 窒素ガス分離装置 (B/C) 運転から (A/C) 運転に切替完了
 (窒素ガス分離装置 (B) 停止)

- ・当直員が集中監視室の監視画面で窒素ガス分離装置 (B) 出口流量の指示値が低下しないことを確認
- ・現場で対応していた当直員が窒素ガス分離装置 (B) 本体の出口流量計の指示値が $0\text{m}^3/\text{h}$ になっていること、当該装置の表示画面で当該警報が4月21日2時14分に発生していたこと、当該制御装置の「24V」ランプ表示が消灯していることを確認
- ・当直員が集中監視室の監視画面で当該警報が発生した以降、出口流量、出口圧力、窒素濃度の指示値が一定 (直線状態) で、窒素ガス分離装置運転中に見られる指示値の変動 (ゆらぎ) がないことを確認

13時40分 当直長が実施計画Ⅲ第1編第25条第2項(3)で要求される事項「封入する窒素の濃度が99%以上であることを毎日1回確認する」ことを満足できていないとして、運転上の制限からの逸脱と判断

13時40分 当直長が窒素ガス分離装置 (A/C) 運転切替後、封入する窒素の濃度が99%以上であることを確認し、運転上の制限逸脱からの復帰と判断

15時00分頃 設備保全箇所の社員が当該制御装置に黒色の粉が付着していること、当該装置内の広範囲に黒色の粉が堆積していることを確認

運転中の窒素ガス分離装置の監視強化を開始

令和2年4月30日

13時50分頃 窒素ガス分離装置 (B) 活性炭槽内の状況を確認

14時30分頃 窒素ガス分離装置 (B) 吸着槽下流側にあるフィルタの状況を確認

令和2年5月1日

12時03分 窒素ガス分離装置 (A/C) 2台運転から窒素ガス分離装置 (C) 1台運転に変更 (窒素ガス分離装置 (A) 待機)

13時30分 福島第一規則第18条第5号「発電用原子炉施設の故障 (発電用原子炉施設の運転に及ぼす支障が軽微なものを除く。) により、運転上の制限を逸脱したとき。」に該当すると判断

令和2年5月2日

窒素ガス分離装置 (B) の隔離処置を実施
 (発電所構外へ搬出して調査するための準備)

時系列

令和2年5月3日

窒素ガス分離装置（B）コンテナを発電所構外へ搬出

令和2年5月6日

窒素ガス分離装置（B）の再現性確認及び当該制御装置の状態確認を実施

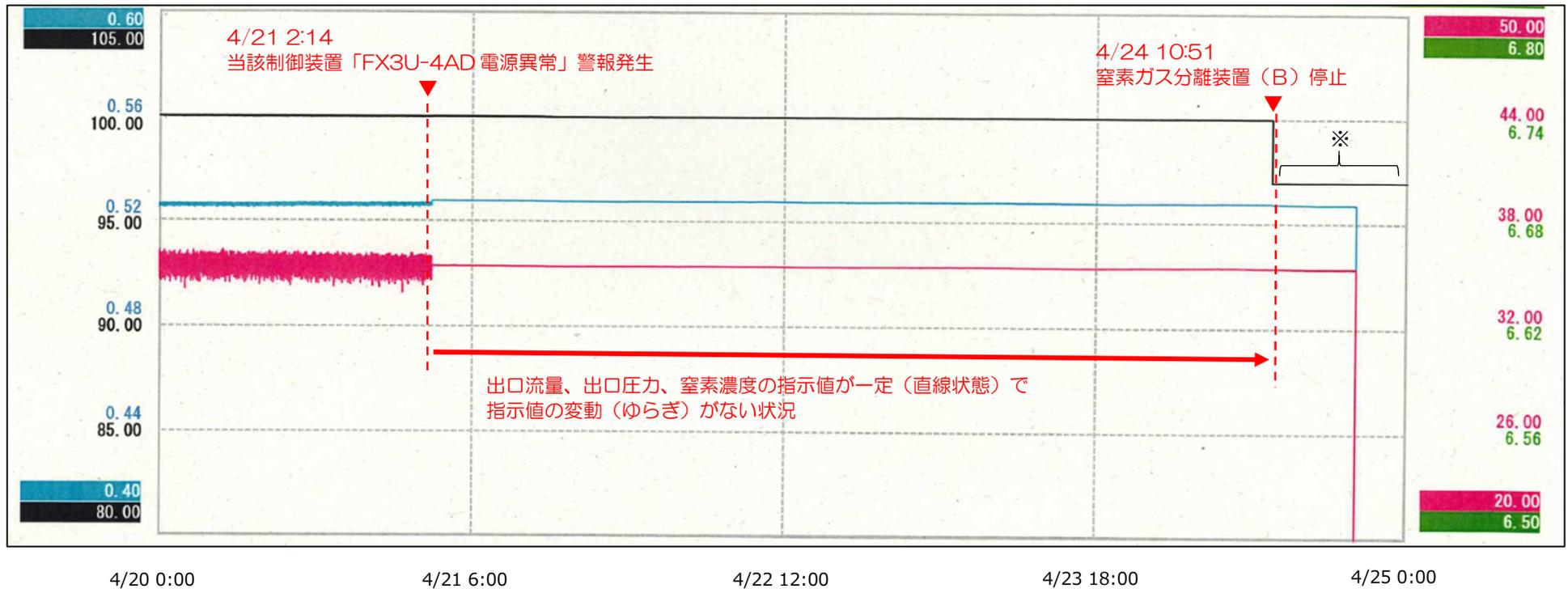
令和2年5月7日

窒素ガス分離装置（B）吸着槽の状況確認を実施

事象発生時の窒素ガス分離装置関連パラメータ

窒素ガス分離装置 (B)

— : 窒素ガス分離装置 (B) 出口圧力 — : 窒素ガス分離装置 (B) 出口流量 — : 窒素ガス分離装置 (B) 窒素濃度

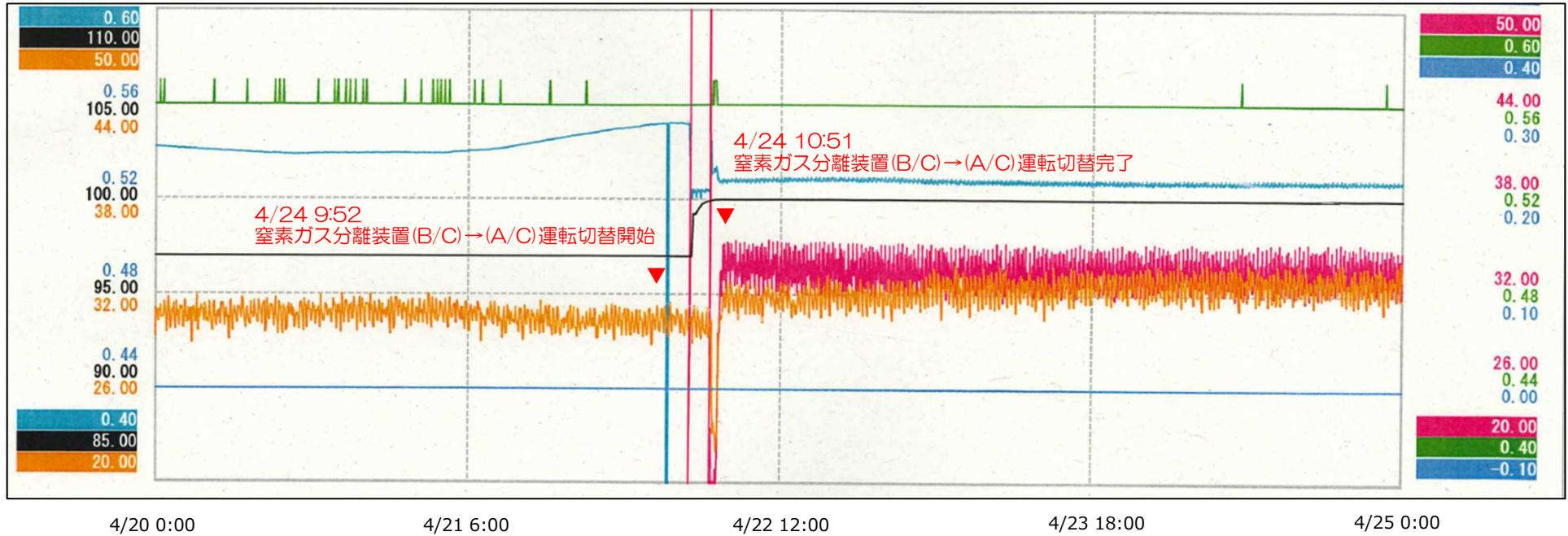


※：窒素ガス分離装置 (B) を停止した以降も窒素濃度が97%で保持しているのは、停止信号が送られるとシーケンサから直接97%で保持する信号が出るためである。

事象発生時の窒素ガス分離装置関連パラメータ

窒素ガス分離装置 (A/C)

- : 窒素ガス分離装置 (A) 出口圧力 — : 窒素ガス分離装置 (A) 出口流量 — : 窒素ガス分離装置 (A) 窒素濃度
- : 窒素ガス分離装置 (C) 出口圧力 — : 窒素ガス分離装置 (C) 出口流量 — : 窒素ガス分離装置 (C) 酸素濃度

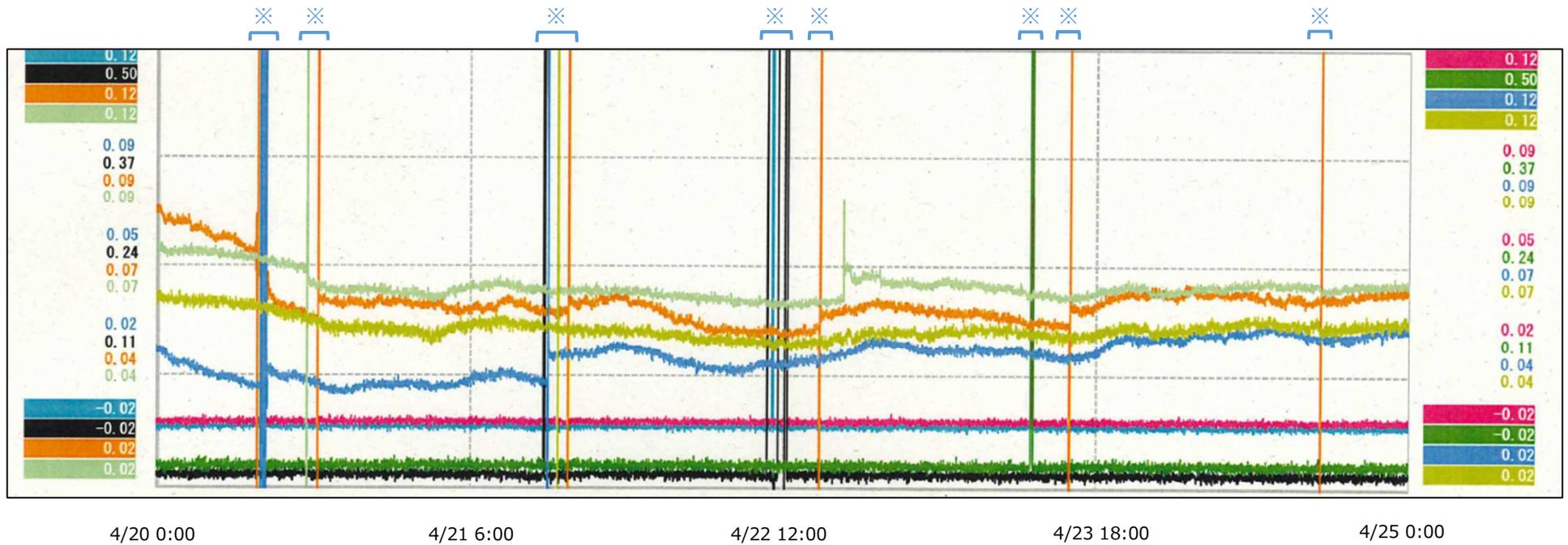


事象発生時の窒素ガス分離装置関連パラメータ

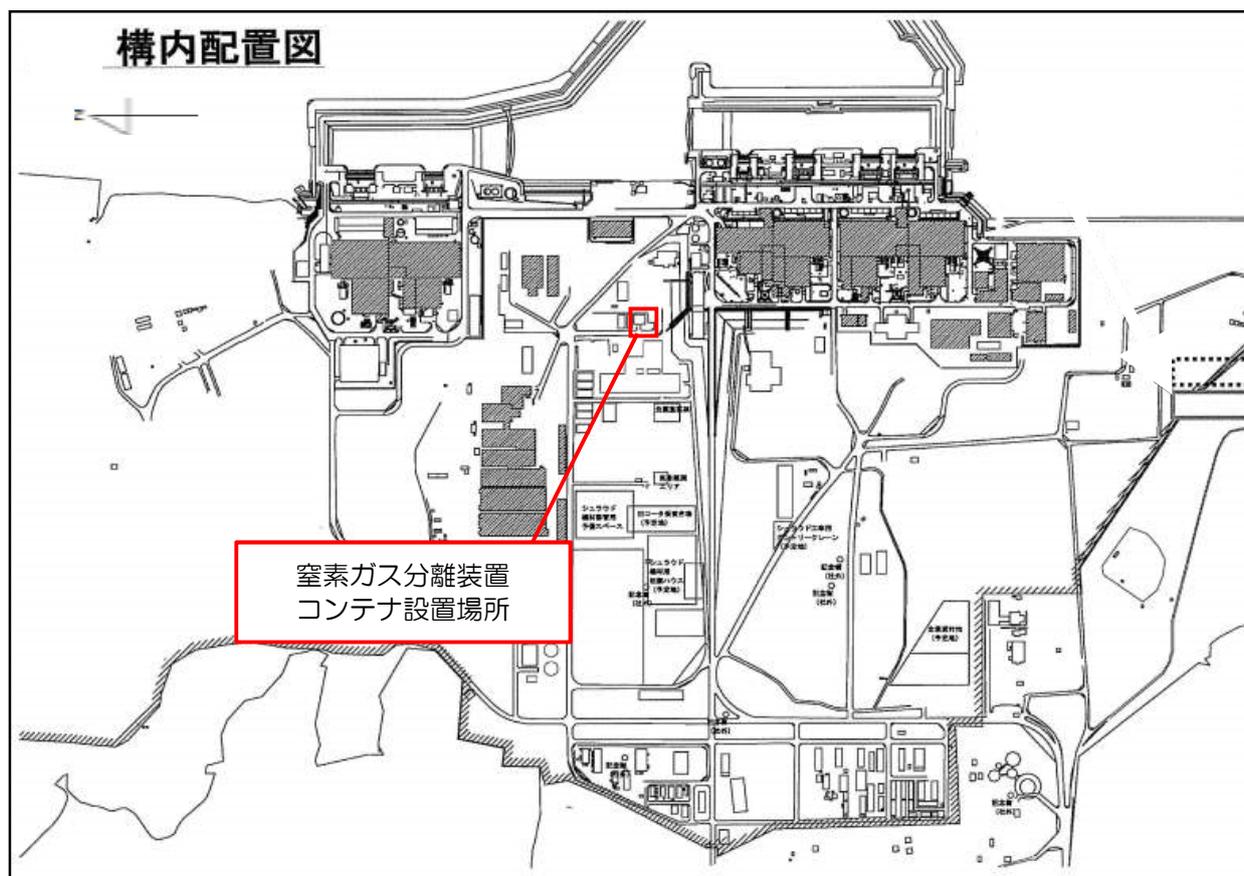
1～3号機原子炉格納容器内 水素濃度
 1号機原子炉格納容器内 酸素濃度

- : 1号機PCVガス管理システム(A) 水素濃度
- : 1号機PCVガス管理システム(B) 酸素濃度
- : 3号機PCVガス管理システム(A) 水素濃度
- : 1号機PCVガス管理システム(B) 水素濃度
- : 2号機PCVガス管理システム(A) 水素濃度
- : 3号機PCVガス管理システム(B) 水素濃度
- : 1号機PCVガス管理システム(A) 酸素濃度
- : 2号機PCVガス管理システム(B) 水素濃度

※自動校正によるハンチング

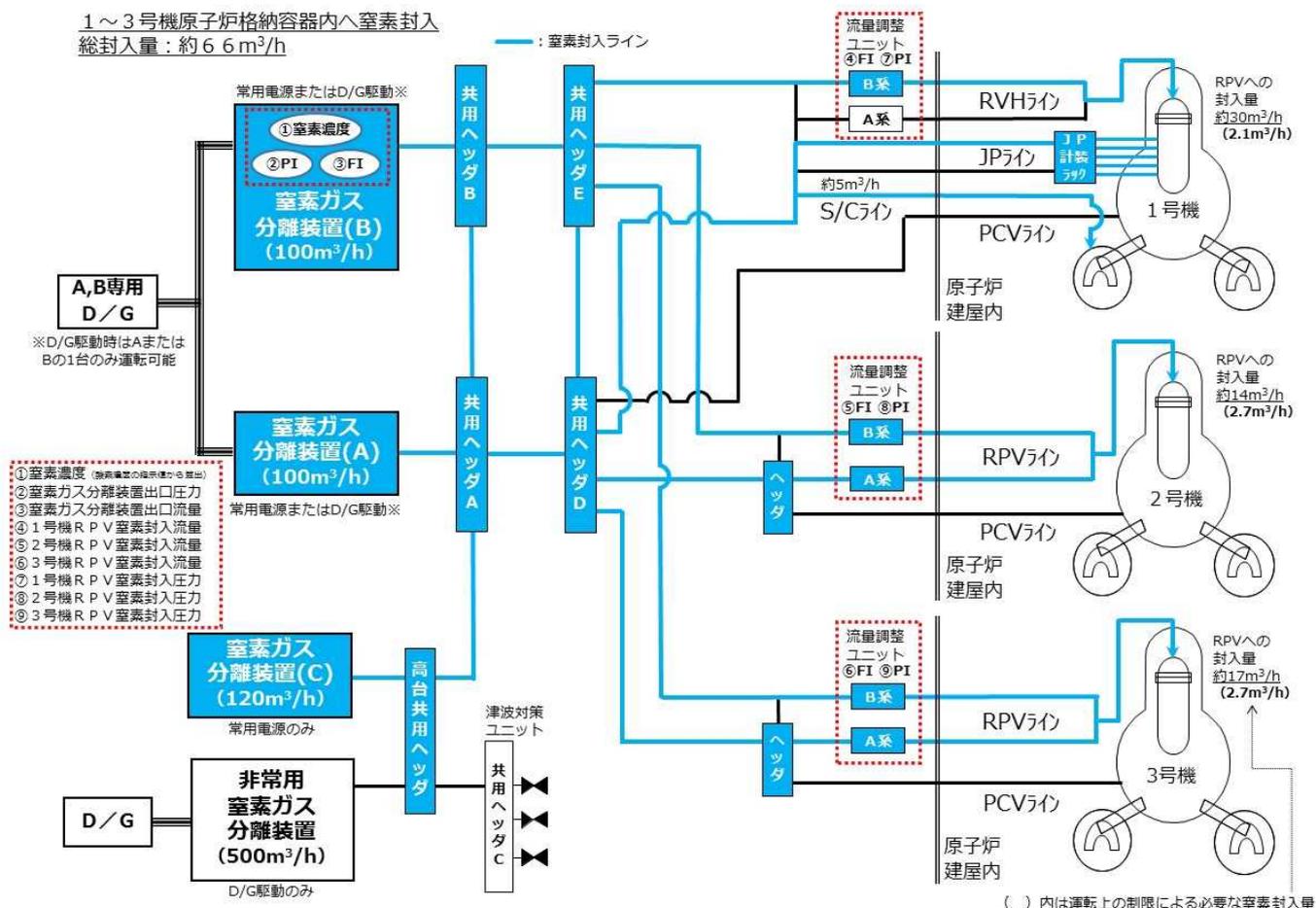


事象発生場所



窒素ガス分離装置 (B) コンテナ外観

窒素封入設備系統概要図



現在の1～3号機窒素封入設備における総封入量が約66Nm³/hであるのに対して、窒素ガス分離装置1台あたりの封入容量は現在の総封入量以上あることから、窒素ガス分離装置1台運転でも必要な窒素封入量は十分に確保できる。

系統	現在の封入量 (Nm ³ /h)	必要な窒素封入量 (Nm ³ /h)
1号機	約 35	2.1
2号機	約 14	2.7
3号機	約 17	2.7
合計	約 66	7.5

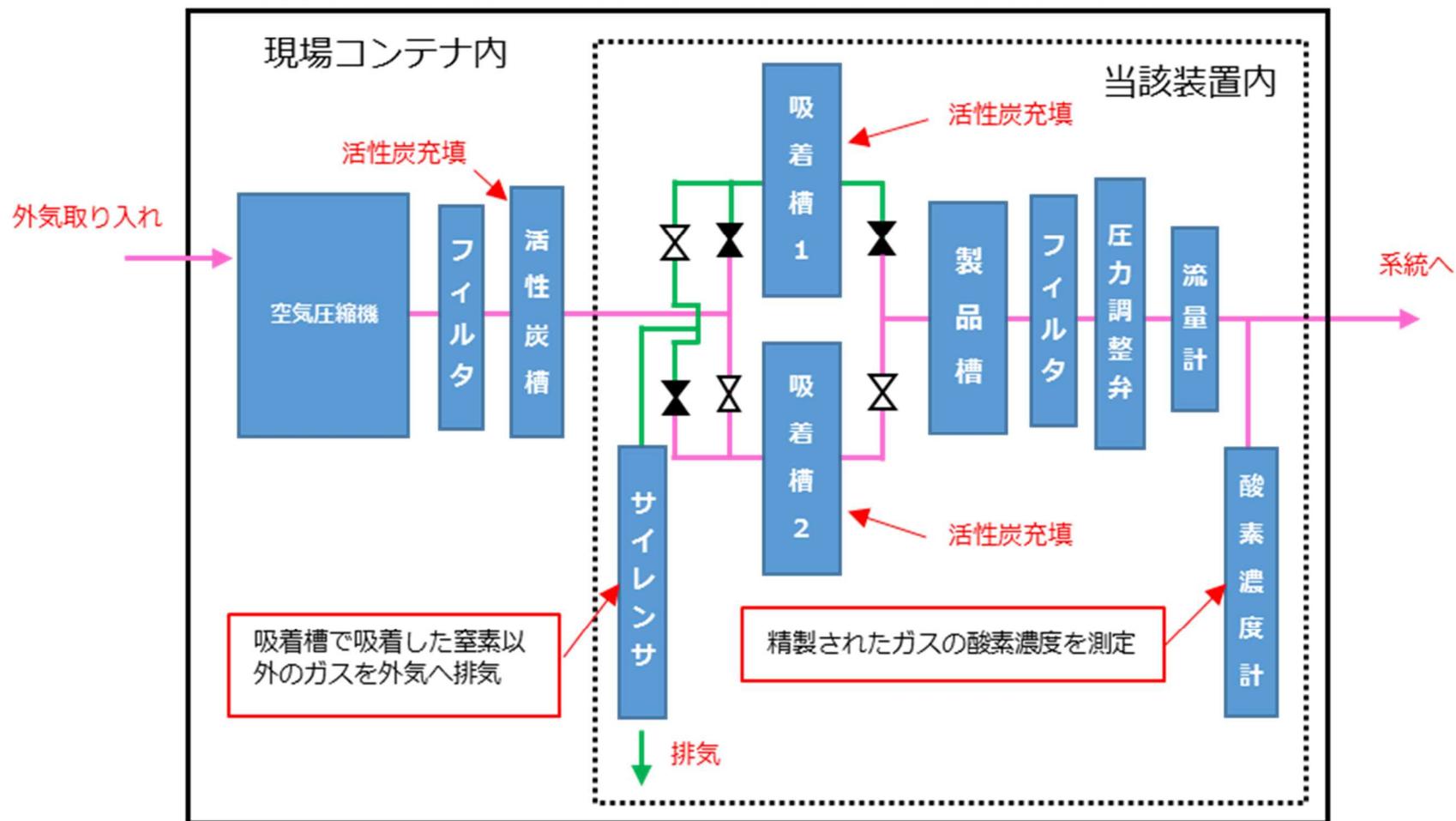
設備名称	容量 Nm ³ /h	電源
窒素ガス分離装置 (A)	100	外部電源 D/G
窒素ガス分離装置 (B)	100	
窒素ガス分離装置 (C)	120	外部電源
非常用窒素ガス分離装置	500	D/G

当該装置概略図

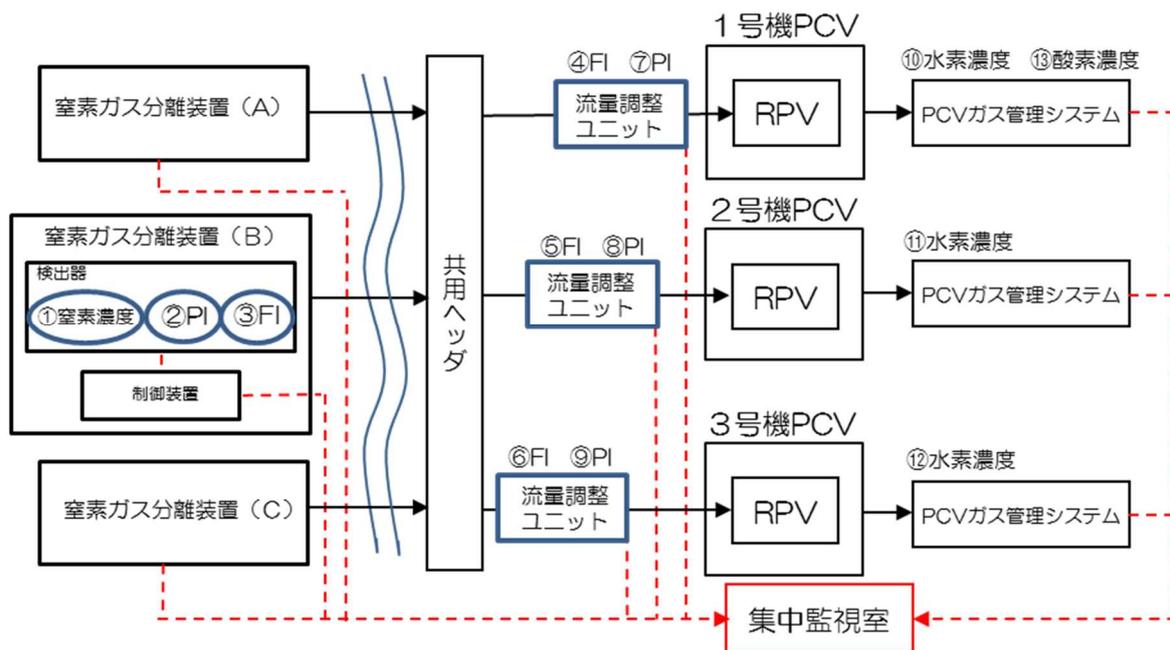
— 窒素供給ライン

— 排気ライン

※吸着槽 1 と 2 の切替運転（吸着⇔再生）により連続的に窒素供給を行う。



集中監視室へ伝送している窒素封入設備関連パラメータ

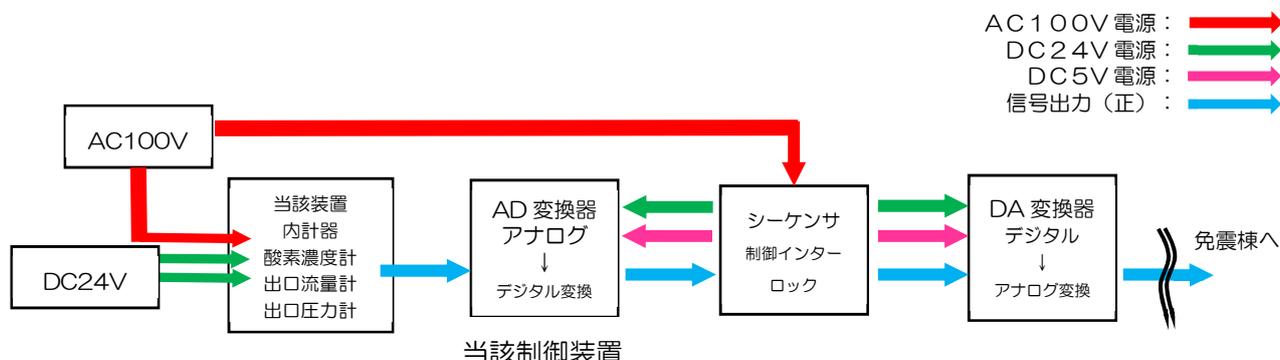


- ①窒素濃度（酸素濃度の指示値から算出）
- ②窒素ガス分離装置出口圧力
- ③窒素ガス分離装置出口流量
- ④1号機RPV窒素封入流量
- ⑤2号機RPV窒素封入流量
- ⑥3号機RPV窒素封入流量
- ⑦1号機 RPV 窒素封入圧力
- ⑧2号機 RPV 窒素封入圧力
- ⑨3号機 RPV 窒素封入圧力
- ⑩1号機 PCV ガス管理システム 水素濃度
- ⑪2号機 PCV ガス管理システム 水素濃度
- ⑫3号機 PCV ガス管理システム 水素濃度
- ⑬1号機 PCV ガス管理システム 酸素濃度*

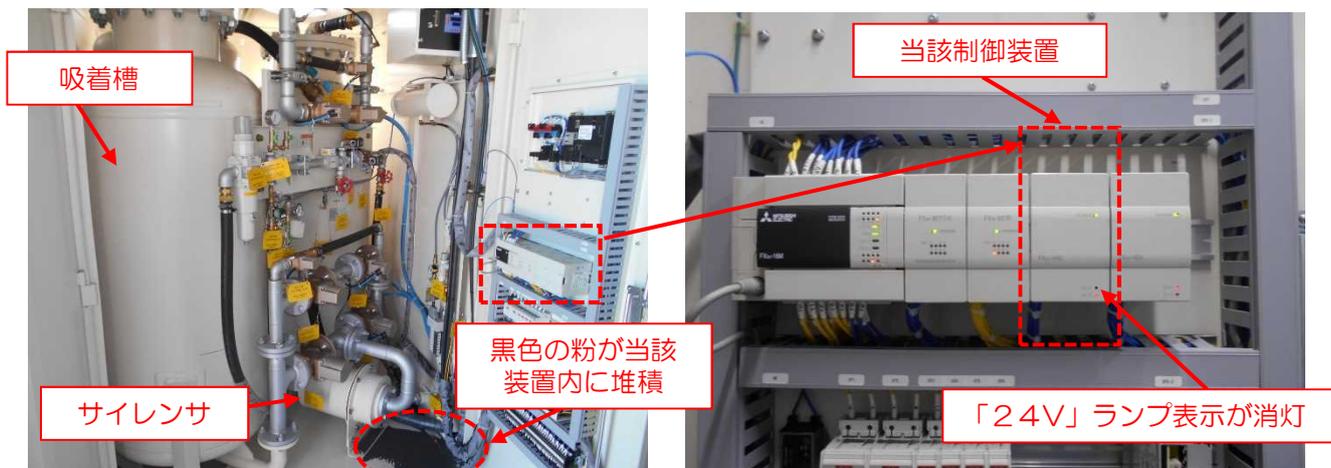
*PCV ガス管理システムの酸素濃度は、1号機のみ設備内で連続測定・伝送している。

2、3号機は、定期的に手動測定している。

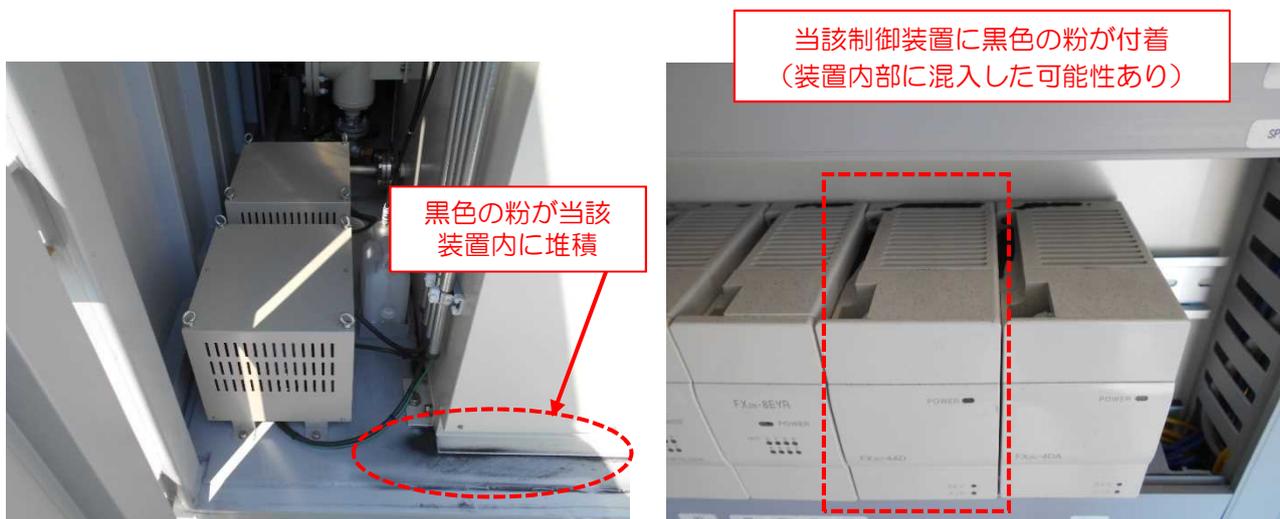
当該装置内から集中監視室への関連パラメータ伝送状況図



窒素ガス分離装置 (B) 現場状況写真



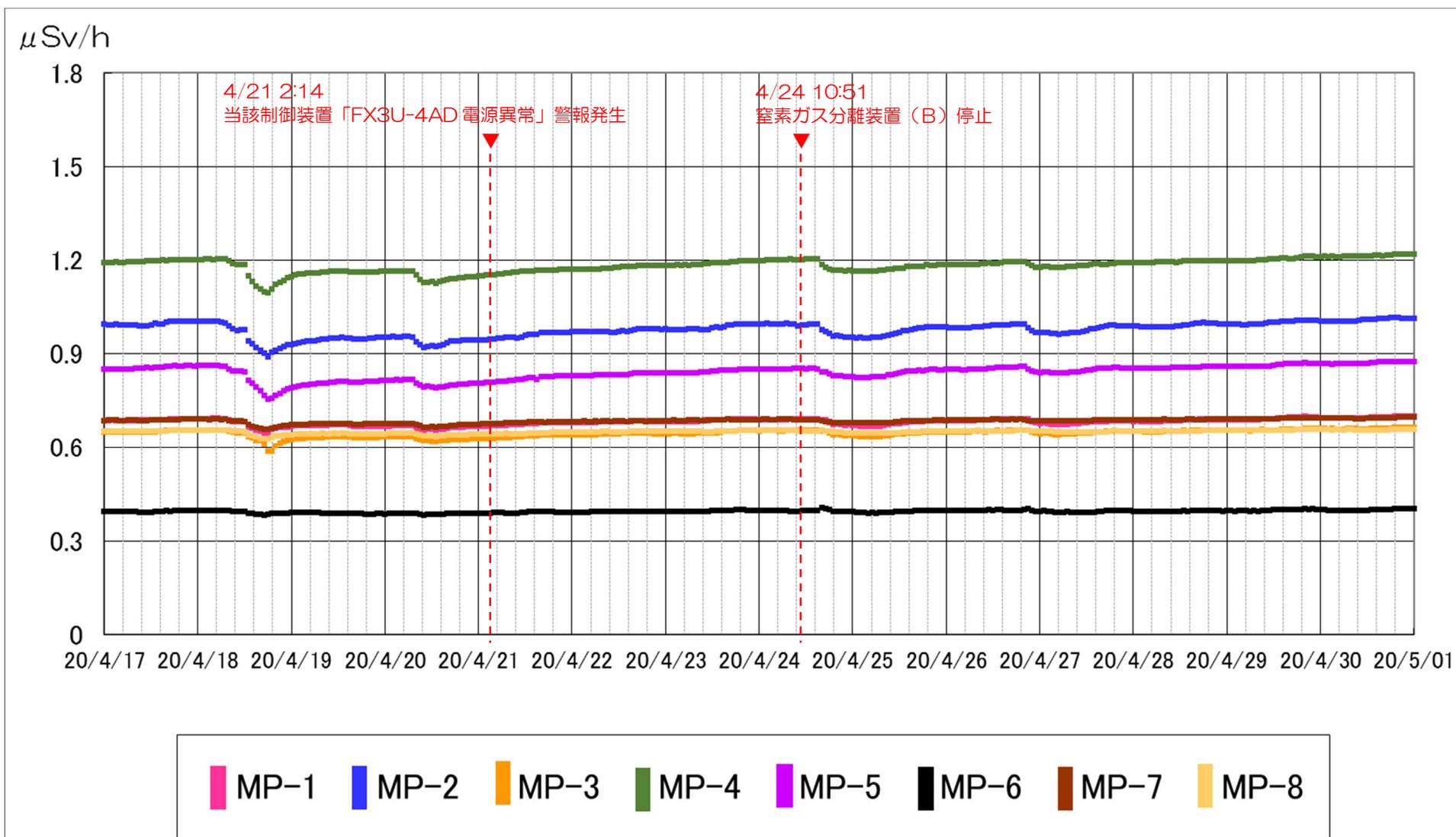
当該装置内部 (表側)



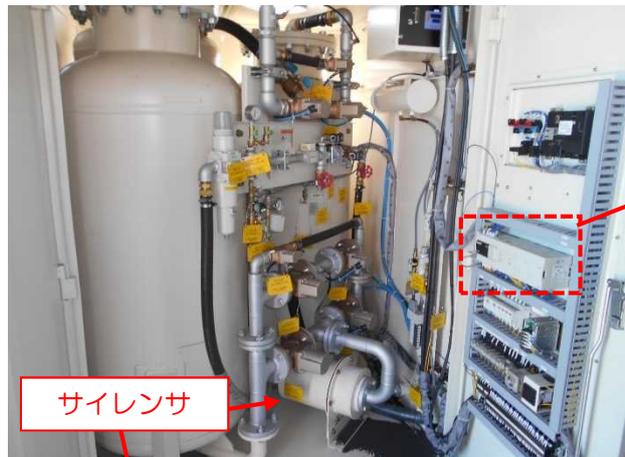
当該装置内部 (裏側)

当該制御装置 (FX3U-4AD)

モニタリングポストにおける空気中の放射線量の測定結果（令和2年4月17日～4月30日）



窒素ガス分離装置 (B) 現地調査結果
窒素ガス分離装置 (B) 当該装置の状況



当該装置内部



排出方向



当該制御装置 (FX3U-4AD)

窒素ガス分離装置 (B) 活性炭槽の状況



窒素ガス分離装置 (B) コンテナ外観 (裏側)

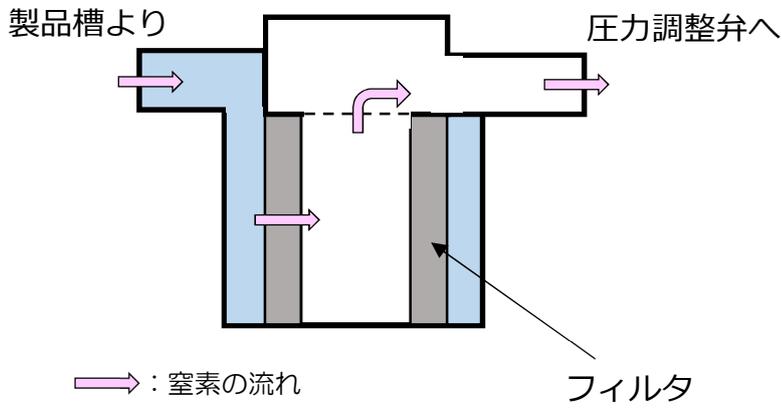


活性炭槽 上蓋取り外し後



活性炭充填状況

窒素ガス分離装置 (B) 現地調査結果
窒素ガス分離装置 (B) フィルタの状況



フィルタ イメージ図



フィルタ 全体写真



フィルタの状況

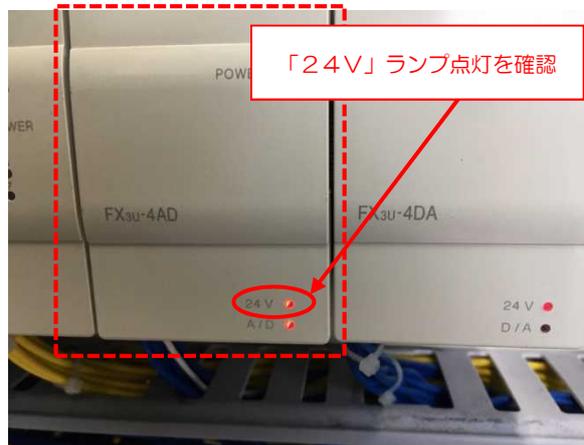
窒素ガス分離装置（B）発電所構外調査結果

再現性確認



当該装置の表示画面

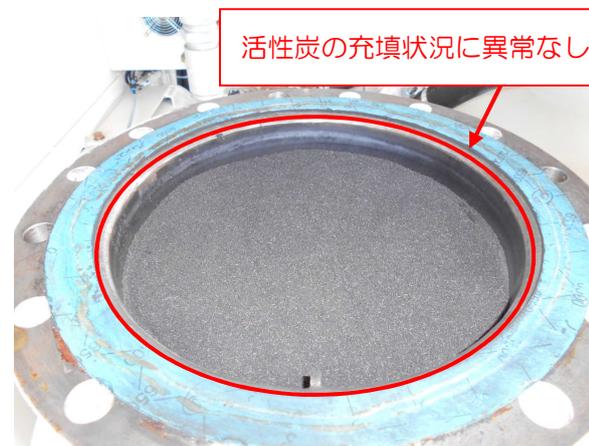
当該制御装置の状態確認
(新品交換後)



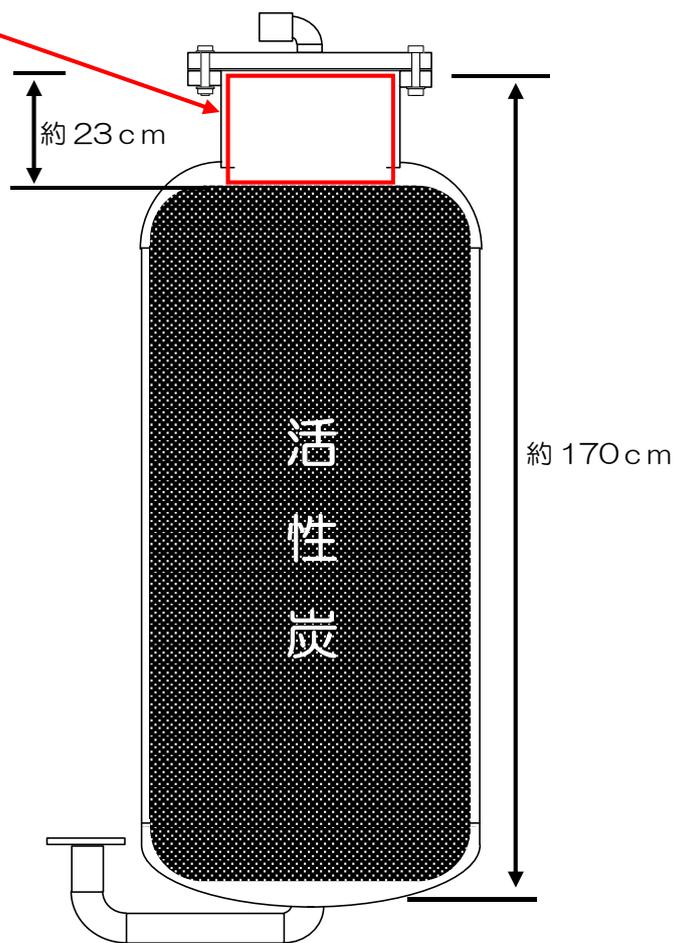
吸着槽の状況確認



吸着槽 1



吸着槽 2



吸着槽外形図

窒素ガス分離装置（B）窒素濃度指示不具合事象に関する要因分析表

○：異常なし
 △：要因の可能性あり
 ×：異常あり

事象	分類	推定原因	確認方法	確認結果	評価	備考
当該制御装置の不具合	当該制御装置の外的要因	供給電圧の異常	—	当該制御装置で電源異常を示す警報が発生したが、当該装置から供給されている他の制御装置の電源は正常であったことから、当該制御装置へ供給される電圧に異常はなかったと判断した。	○	—
	当該制御装置の内部要因	電源端子の接触不良	電源端子のゆるみ確認	当該制御装置の電源端子に接触不良がないか確認したところ、端子の緩みはなく、接触不良等の異常はなかった。（令和2年5月6日に確認）	○	—
		電源ケーブルの断線	電源ケーブルの導通確認	当該制御装置の電源ケーブルに断線がないか導通確認したところ、通電状態にあり、断線はなかった。（令和2年5月6日に確認）	○	添付資料-12
		制御装置内部の不具合	分解調査	当該装置内にある制御装置の製造メーカーに当該制御装置を引き渡し、制御装置内部に異常がないか確認したところ、当該制御装置の内部に黒色の粉が付着していることを確認した。また、当該制御装置内部に断線がないか導通確認をしたところ、24V入力電源回路に使用しているヒューズが開放していた。なお、制御装置内部に塩害や腐食等の異常はなかった。（令和2年5月15日に確認）	×	添付資料-12
当該活性炭の細粒化	当該活性炭の減少	当該活性炭の充填高さの低下	充填状況の確認	吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認したところ、吸着槽1に充填されている当該活性炭の高さがフランジ上面から230mm下にあり、製造メーカー工場出荷時の基準値（フランジ上面から40mm下）よりも190mm低下している状況であった。また、吸着槽内で活性炭を拘束させるために取り付けられている上部分散板と上部スポンジが斜めに傾いた状態であった。なお、吸着槽2に充填されていた活性炭の高さはフランジ上面から57mm下であったが、上部分散板と上部スポンジにより活性炭は拘束された状態であった。（令和2年5月7日に確認）	×	添付資料-13
		吸着槽1の変形・損傷	外観及び内部点検	吸着槽1の外観及び内部点検を行ったところ、吸着槽1の外観及び内部にある支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）に変形・損傷等の異常はなかった。また、当該活性炭が排出されたサイレンサの内部点検も行ったところ、サイレンサ内部にある不織布全体に細粒化した活性炭が付着していたことから、不織布で捕集できなかった当該活性炭がサイレンサより排出されたものと推定した。（令和2年5月21日に確認）	○	添付資料-14
	当該活性炭の製品不良	当該活性炭の硬度及び成分不良	試験データの確認	当該活性炭の硬度を製造時の試験データにより確認したところ、メーカー基準の硬度を満足していた。また、当該活性炭の成分分析を行い、別の検査済みの活性炭と比較した結果、当該活性炭の成分に差異はなかったことから、当該活性炭の成分不良はない。	○	添付資料-15
		吸着槽1及び支持構造物の製造不良	製造記録確認及び支持構造物の寸法測定	吸着槽は一般産業向けに製造・販売されている製品であり、製造記録等がないことから、吸着槽1の内径及び吸着槽内で活性炭を拘束させるために取り付けられている支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）の寸法測定を行ったところ、設計図面と測定した寸法に有意な差はなかったことから、製造不良はない。（令和2年5月21日に確認）	○	添付資料-16
	過去の類似事象	—	製造メーカーへの確認	窒素ガス分離装置（B）は一般産業向けに製造・販売されている製品であり他でも使用実績があることから、過去に活性炭が細粒化した事象がないか製造メーカーに確認したところ、吸着槽1と同じ型式の吸着槽において、活性炭が細粒化する事象が発生していた。過去の細粒化事象では、以下のような経緯で活性炭が細粒化することが分かっている。 ・活性炭の粒は円柱状であり粒同士に不均一な隙間が生じるため、吸着槽内に活性炭を充填する際には、パイプレータを用いて活性炭を均一にさせながら、フランジ上面から40mm下まで活性炭を充填する。 ・活性炭の充填後、その上に伸縮性のある上部スポンジ、さらにその上に上部分散板を置き、吸着槽の上蓋を取り付けることで充填した活性炭を拘束する。 ・活性炭の充填状況は粒形状によればらつきが生じるため、それにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じる。 ・その後の輸送時及び据付時の振動や運転時の流体の流れによって、吸着槽内の空隙割合が低下し、活性炭の充填高さが低下する。 ・活性炭の充填高さが低下すると、フランジ上面に置いてある上部スポンジが膨らむが、上部スポンジが完全に膨らんだ場合の寸法は50mmであり、それ以上に活性炭の充填高さの低下が進行すると、上部分散板と上部スポンジによる活性炭の拘束力が低下する。 ・活性炭の拘束力が低下すると、吸着槽内の上部にある活性炭に隙間ができてフレッシングが発生し、活性炭が細粒化する。	—	添付資料-17
	当該活性炭の細粒化時期	当該活性炭充填時の異物混入	充填作業記録の確認 使用工具の確認	吸着槽1に当該活性炭を充填する際に異物が混入した可能性がないか充填時の作業記録を確認したところ、定められた基準の活性炭が充填されており、基準の違う活性炭が混入した形跡はない。また、充填時の使用工具を確認したところ、充填作業に用いる工具は充填時に活性炭を均一化させるためのパイプレータだけであり、パイプレータに欠損等の異常はなく、充填時に活性炭以外の異物が混入した形跡はない。なお、当該活性炭の減少調査において、吸着槽1内及び当該活性炭を確認した際、異物がないことを確認している。	○	添付資料-18
		当該活性炭充填時の作業間違い	充填作業記録の確認	吸着槽1に当該活性炭を充填する際に、定められた手順で作業を行っているか充填時の作業記録を確認したところ、製造メーカーで定める手順に基づき、必要な力量を満たした者が充填作業を実施しており、活性炭の充填高さは基準値（40mm）を満足していた。また、吸着槽内で活性炭を拘束させるための支持構造物（上部分散板、上部スポンジ、下部仕切り金網、下部スポンジ）の取り付け状況を確認したところ、設計図面通りの支持構造物が取り付けられていたことから、充填時の作業間違いはない。	○	添付資料-18
		窒素ガス分離装置（B）出荷時の充填不足	充填作業記録の確認	窒素ガス分離装置（B）出荷時の状況を確認したところ、発電所構内へ出荷する前に製造メーカーの工場にて窒素ガス分離装置（B）の試運転を約20時間実施しており、試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していた。その結果、活性炭の充填高さが若干低下していたことから、活性炭の充填高さがメーカー基準値を満足するよう活性炭を補充していた。なお、過去の類似事象調査の結果から、充填時における活性炭の粒形状のばらつきにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じ、輸送時及び据付時の振動もしくは運転時の流体の流れの影響等によって吸着槽内の空隙割合が低下して、活性炭の充填高さが低下することが分かっている。このため、活性炭の充填高さの低下が十分小さくなるまでは、試運転及び活性炭の補充を繰り返す必要があると考えた。	△	添付資料-18
		窒素ガス分離装置（B）輸送中及び据付時における当該活性炭の充填高さの低下	輸送・据付状況の確認	窒素ガス分離装置（B）の輸送中及び発電所構内へ輸送した後の据付時における振動によって、当該活性炭の充填高さが低下した可能性がないか確認したところ、窒素ガス分離装置（B）の吸着槽1と一緒に輸送・据付を行った吸着槽2に活性炭の充填高さの低下は確認されていないことから、可能性は低いと考えられる。ただし、窒素ガス分離装置（B）の据付後や試運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していないため、窒素ガス分離装置（B）輸送中及び据付時の振動によって充填高さが低下した可能性は否定できない。	△	—
		窒素ガス分離装置（B）運転時における当該活性炭の充填高さの低下	運転状況の確認	運転時の過流量によって当該活性炭の充填高さが低下した可能性がないか、窒素ガス分離装置（B）を運転確認したところ、吸着槽1・2における運転時の圧力にばらつきはなく、切替弁の動作不良はなかったことから、運転時の過流量によって充填高さが低下した可能性は低いと考えられる。（令和2年5月6日に確認） ただし、窒素ガス分離装置（B）の運転後に吸着槽1の上蓋を取り外して当該活性炭の充填状況を確認していないため、窒素ガス分離装置（B）運転時の流体の流れによって充填高さが低下した可能性は否定できない。	△	添付資料-19

25

添付資料-11

当該制御装置の点検結果

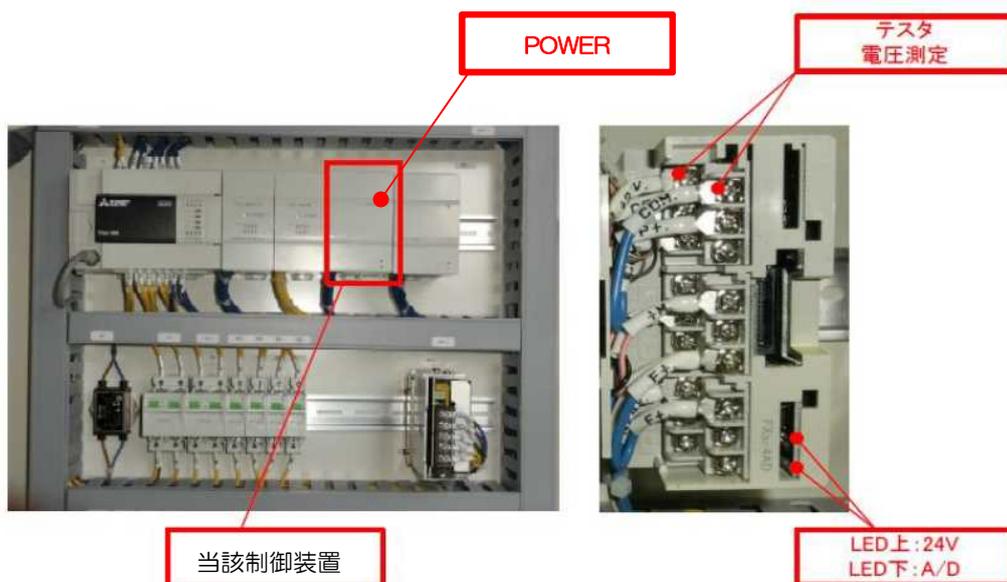


表1 当該制御装置のLED点灯状況 (POWER、24V、A/D)

確認箇所	LED点灯状況
POWER	Gランプ点灯
24V	消灯
A/D	消灯

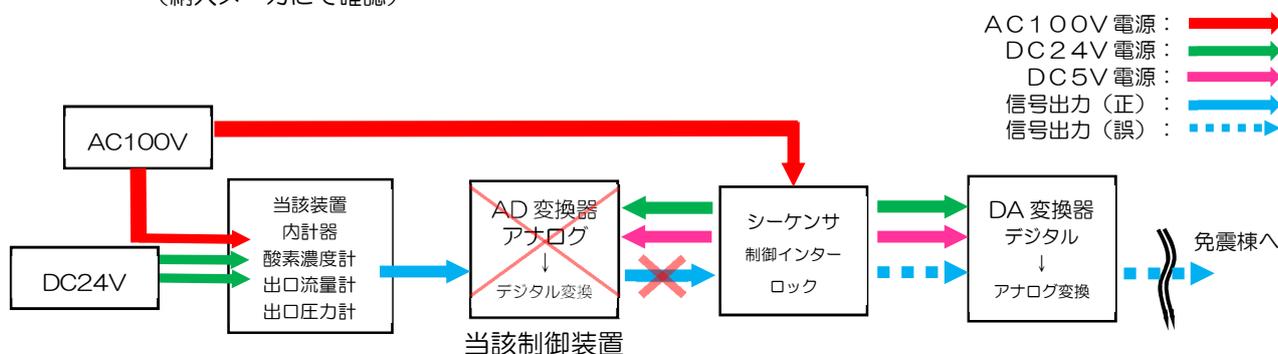
表2 当該制御装置電源ケーブルの電圧測定結果

確認箇所	測定結果
電圧測定値	23.868V

表3 当該制御装置内部の電圧測定結果

確認箇所	測定結果
電圧測定値	∞※

※：導通確認し、指示値が「∞」となったことからヒューズが開放していると判断した。
(納入メーカーにて確認)



当該制御装置の電源喪失により、計器信号をシーケンサに伝送できず、シーケンサ内で計器信号を保持したままの状態での出力されたため、集中監視室の監視画面に表示される関連パラメータの指示値が一定（直線状態）となった。

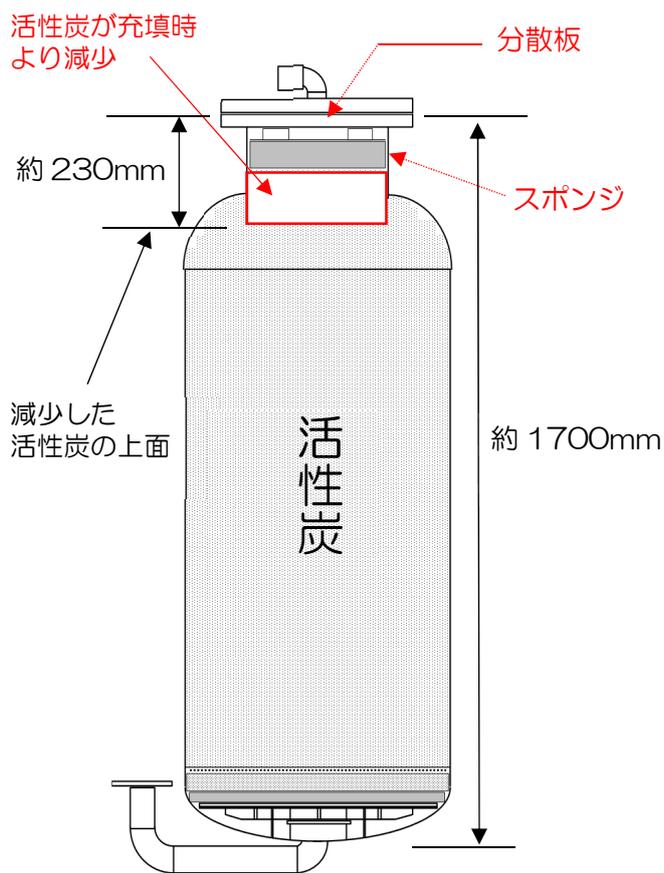
当該活性炭の充填状況確認結果



吸着槽1 充填高さ



吸着槽2 充填高さ



吸着槽1の充填状況



吸着槽1 上部分散板



吸着槽1 上部スポンジ

吸着槽1及びサイレンサの外観・内部点検結果



吸着槽1の外観



上部分散板



上部スポンジ



下部仕切り金網



下部スポンジ



サイレンサの不織布は本来白色であるが、全面的に細粒化した活性炭が付着していた。
なお、不織布裏面は白いままであった。

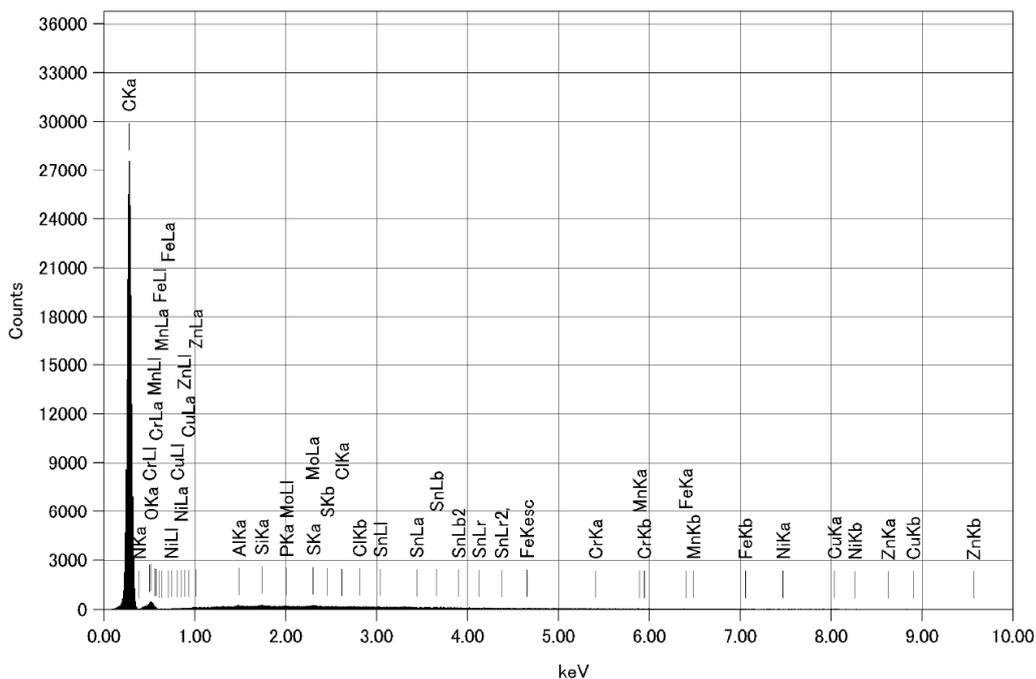
サイレンサの不織布

当該活性炭の硬度及び成分分析結果

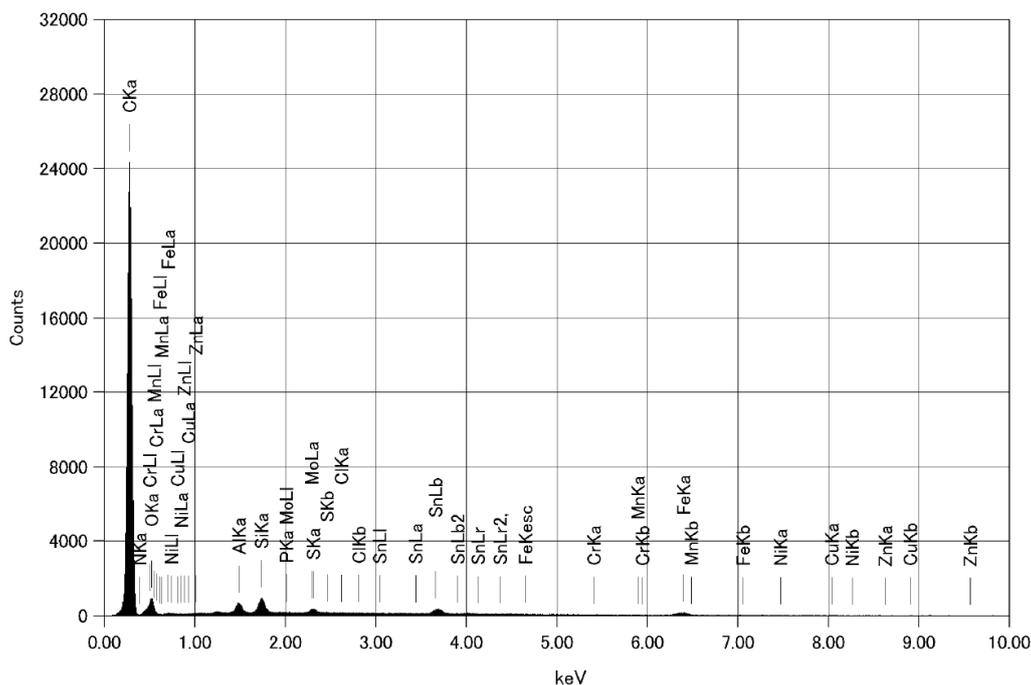
当該活性炭の硬度

	硬度 (%)
当該活性炭 (充填時)	94.9
当該活性炭 (再充填時)	95.8
メーカ基準値	92.0以上

当該活性炭の成分分析結果



別の検査済みの活性炭の成分分析結果



吸着槽 1 及び支持構造物の寸法測定結果

吸着槽 1 内径

確認項目	測定結果
吸着槽内径	652mm (図面記載: 650mm)
吸着槽厚さ	9mm
吸着槽高さ	1748mm (図面記載: 1753mm)
フランジ部内径	344.5mm (図面記載 343.6mm)

上部分散板

確認項目	測定結果
厚さ寸法	26mm (図面記載: 26mm)
直径寸法	338mm (図面記載: ϕ 338.4mm)



上部分散板

上部スポンジ

確認項目	測定結果
厚さ寸法	47mm (図面記載: 50mm)
直径寸法	350mm (図面記載: ϕ 355mm)



上部スポンジ

下部仕切り金網

確認項目	測定結果
直径寸法	645mm (図面記載: ϕ 648mm)



下部仕切り金網

下部スポンジ

確認項目	測定結果
厚さ寸法	20mm (図面記載: 20mm)
直径寸法	670mm (図面記載: ϕ 665mm)

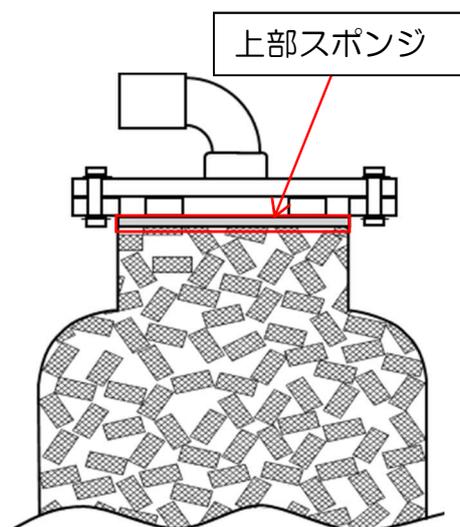


下部スポンジ

活性炭の細粒化メカニズム

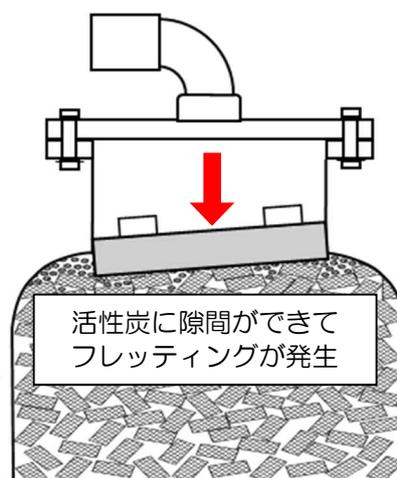
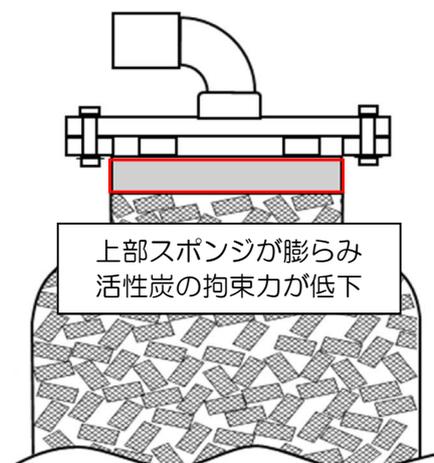
【活性炭充填時】

- 活性炭の粒は円柱状であり粒同士に不均一な隙間が生じるため、吸着槽内に活性炭を充填する際には、バイブレータを用いて活性炭を均一にさせながら、フランジ上面から40mm下まで活性炭を充填する。
- 活性炭の充填後、その上に伸縮性のある上部スポンジ、上部分散板を置き、吸着槽の上蓋を取り付けることで充填した活性炭を拘束する。
- 活性炭の充填状況は粒形状によってばらつきが生じるため、それにより吸着槽内の空隙割合に差異が生じる。



【窒素ガス分離装置輸送・据付・運転時】

- 窒素ガス分離装置の輸送時及び据付時の振動や運転時の流体の流れによって、吸着槽内の空隙割合が低下し、活性炭の充填高さが低下する。
- 活性炭の充填高さが低下すると、フランジ上面に置いてある上部スポンジが膨らむが、上部スポンジが完全に膨らんだ場合の寸法は50mmであり、それ以上に活性炭の充填高さが低下が進行すると、上部分散板と上部スポンジによる活性炭の拘束力が低下する。
- 活性炭の拘束力が低下すると、吸着槽内の上部にある活性炭に隙間ができてフレットィング※が発生し、活性炭が細粒化する。
※フレットィングとは、接触する二物体間に微小な往復滑りが繰り返し作用し、擦り合って表面損傷を起こすことである。



当該活性炭充填時及び窒素ガス分離装置（B）出荷時の作業記録

容器名	吸着槽 1	
基準充填量	274.9kg以上	
充填量	278kg	
活性炭の型式	GN-UC-H（メーカー基準と同一）	
フランジ上面からの寸法	40mm（基準値：40mm）	
活性炭充填（製造時）	活性炭充填（一回目）	70kg
	活性炭充填（二回目）	70kg
	活性炭充填（三回目）	70kg
	活性炭充填（四回目）	68kg
		kg
活性炭充填（出荷時）	基準値：40mm	
	吸着槽 1 開放時：60mm	
	パイプレータによる均し後：60mm	
	活性炭補充後：40mm	

窒素ガス分離装置（B）運転確認結果

当該制御装置で電源異常が発生する直前の流量 35.45m³/h 以上の流量での性能を確認するため、窒素ガス流量を 38m³/h～42m³/h に設定し、流量調整から 10 分後の運転データを測定する。

確認事項	基準値	運転確認時	備考
空気圧縮機吐出圧力 (0.85MPa[gage]仕様)	0.74～0.88MPa[gage]	0.79	
活性炭槽の圧力	0.67～0.86MPa[gage]	0.78	
吸着槽 1 の圧力	0.83MPa[gage]	0.80	
吸着槽 2 の圧力	0.83MPa[gage]	0.79	
製品槽の圧力	0.65～0.83MPa[gage]	0.63～0.80	
窒素ガス出口圧力	0.5MPa[gage]	0.53	
窒素ガス流量	40m ³ /h(Normal)	39.5	
窒素純度（酸素濃度）	99.9vol%(N ₂ +Ar)以上 酸素濃度：0.1vol%以下	0.0	
アラーム発生状況	—	演算エラー	

窒素ガス分離装置（B）対策実施状況
活性炭の細粒化に対する対策



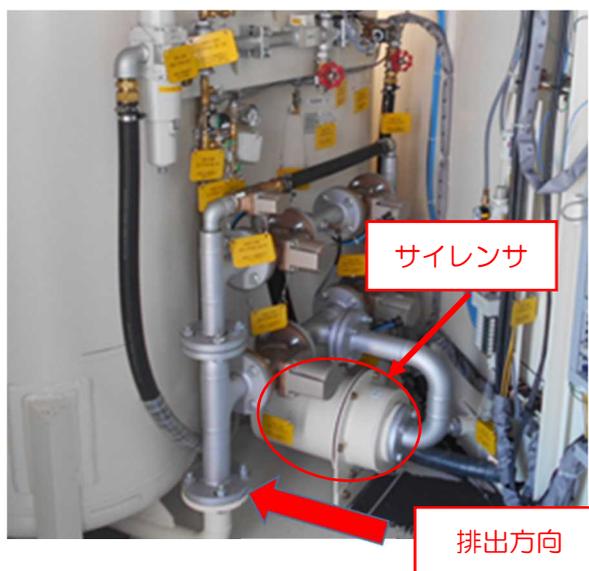
事象発生時の当該活性炭充填状況



試運転と追加充填を繰り返し、
活性炭の充填状態の緊密化を実施

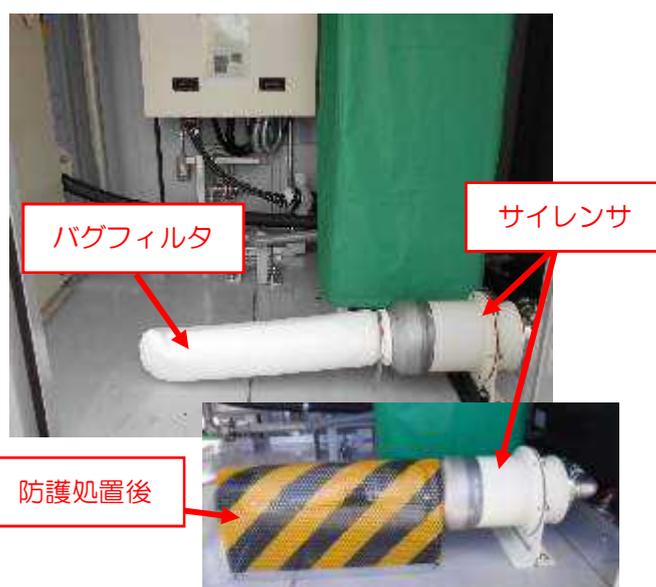
対策後の当該活性炭充填状況

制御装置の電源異常に対する対策



サイレンサ

排出方向



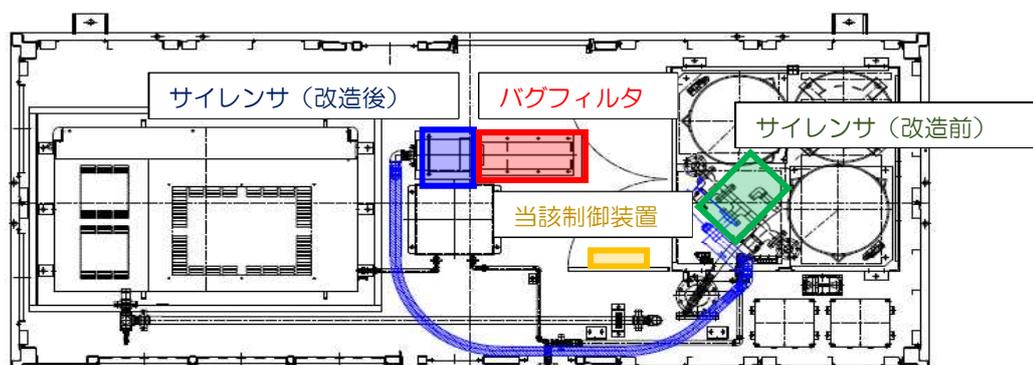
バグフィルタ

サイレンサ

防護処置後

事象発生時のサイレンサ設置状況

対策後のサイレンサ設置状況



サイレンサ（改造後）

バグフィルタ

サイレンサ（改造前）

当該制御装置

サイレンサ移設状況