

# 窒素ガス分離装置（B）指示不良に関する不具合の 原因と対策について

（窒素ガス分離装置（B）指示不良に伴う運転上の制限逸脱及び復帰について（続報））

2020年5月28日



東京電力ホールディングス株式会社

# 1. 概要と現状

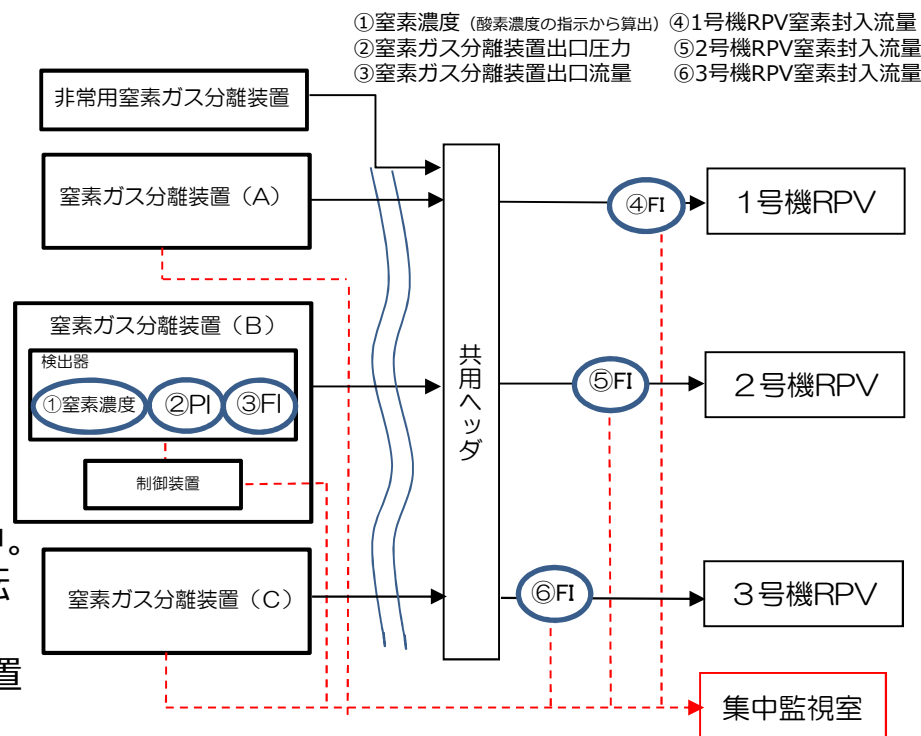
## ■ 概要

- 4月24日、窒素ガス分離装置の運転をB/CからA/Cへ切替をしたところ、免震棟集中監視室の監視画面において、停止した窒素ガス分離装置(B)の③出口流量の指示値が減少しないこと、現場操作盤で「FX3U-4AD電源異常」警報が発生していることを当直員が確認した。また、その他の関連パラメータを確認したところ、4月21日以降、窒素ガス分離装置(B)の①窒素濃度及び③出口流量の指示値に通常の変動がなく一定となっていることを確認した。
- 当直長は、実施計画で要求される事項（封入する窒素濃度が99%以上であることを毎日1回確認）を行うことができていなかったとし、4月24日13:40に「運転上の制限逸脱」を判断した。また、窒素ガス分離装置(B)の窒素供給の停止およびA/C運転時のパラメータに異常がないことを確認し、「運転上の制限逸脱からの復帰」を同時刻13:40に判断した。なお、4月21日以降、PCV内の水素濃度等の監視パラメータに異常は確認されていない。

- 当日の現場確認において、**当該制御器(AD変換器)のDC24V電源ランプが消灯していること、本体のパッケージ内部に黒色の粉が飛散し堆積していることが確認された。**
- 窒素ガス分離装置(B)の再現性試験の結果、窒素濃度100%が確認されたことから、4月21~24日において、PCVへ封入する窒素濃度は99%以上を満足していた状態であり、PCV内の不活性雰囲気維持機能は確保されていたと考えられる。

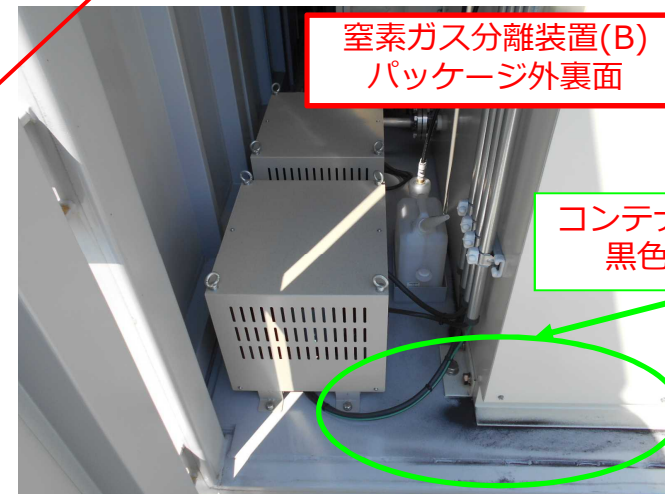
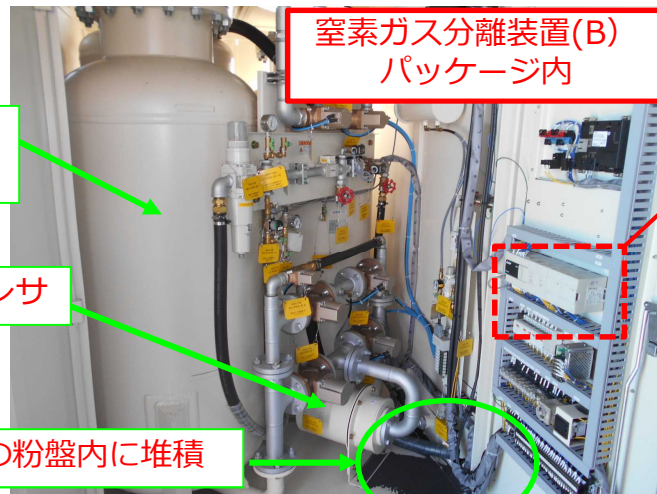
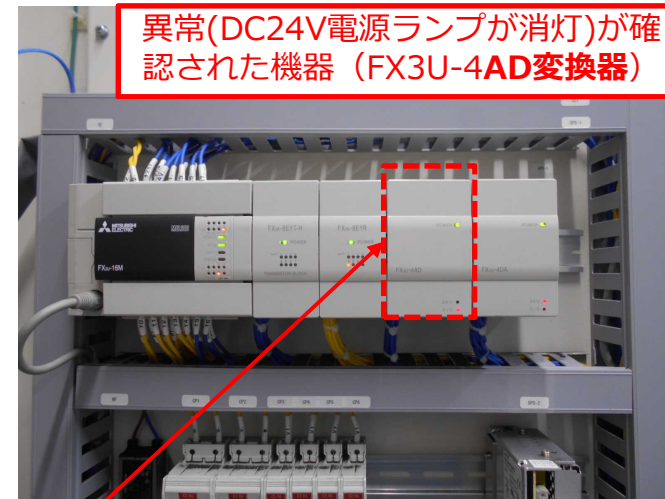
## ■ 現状

窒素ガス分離装置(B)は現在原因調査のため点検中。また、窒素ガス分離装置の運転はC号機の1台運転としており、A号機は待機号機としている。なお、更なる予備機として非常用窒素ガス分離装置が待機中である。



## 2. 事象発生当時の現場状況

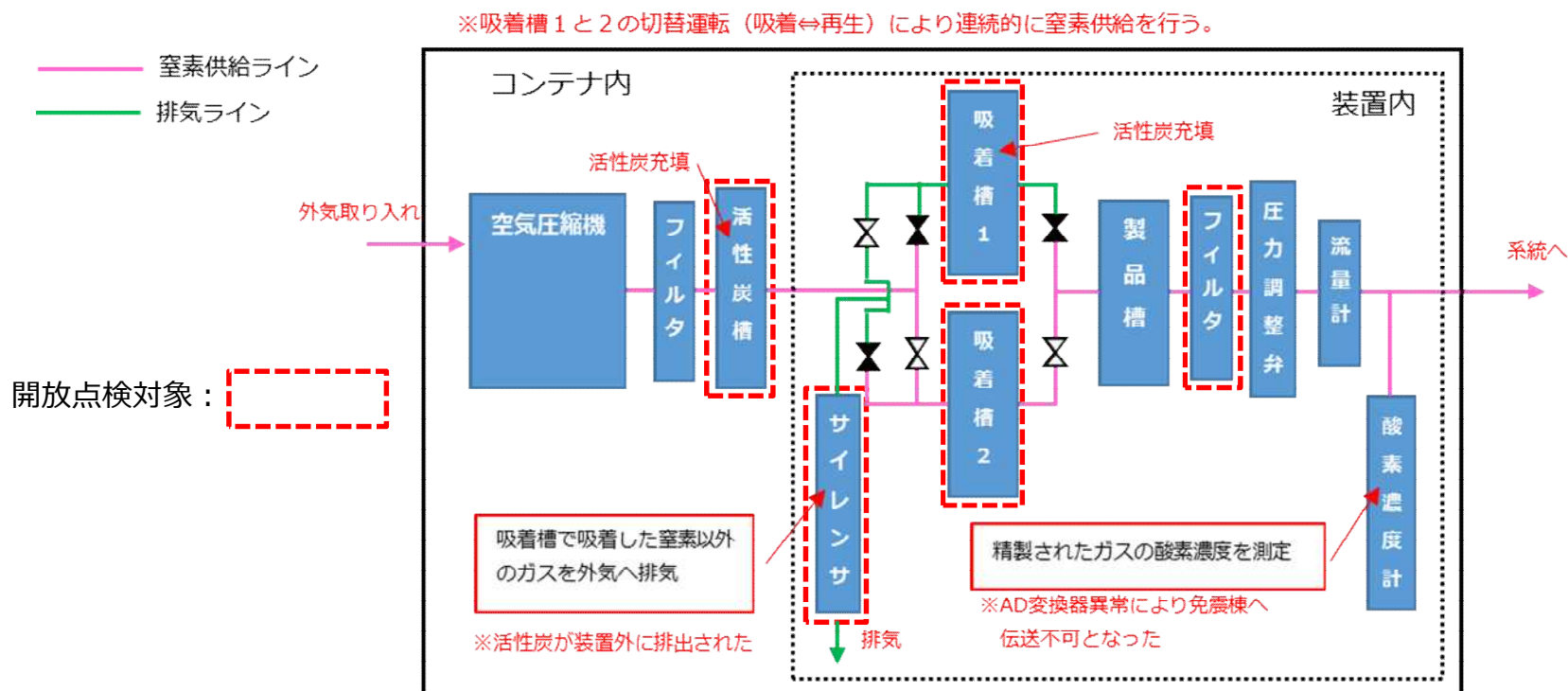
- 窒素ガス分離装置(B)本体のパッケージ内部に黒色の粉が飛散し堆積していることを確認。装置内の流路を構成する配管・機器の継手部に漏えいの痕跡がなかったことから、サイレンサからの排気と同時に外部に流出したものと考えられる。



### 3. 「運転上の制限の逸脱」事象の原因調査

窒素ガス分離装置（B）について、以下の内容の原因調査を実施。

調査項目	調査内容
再現性試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>警報が発報したAD変換器や他の制御器の状態確認（電源状況、外観）</li> <li>黒色の粉の流出経路</li> <li>窒素供給機能の維持（99%以上の窒素濃度を精製・供給の確認）</li> </ul>
分解調査	AD変換器の内部の状態確認
開放点検	黒色の粉の発生箇所、流出経路、系統への流入有無 (活性炭槽、吸着槽1・2、出口フィルタ、サイレンサの開放点検)



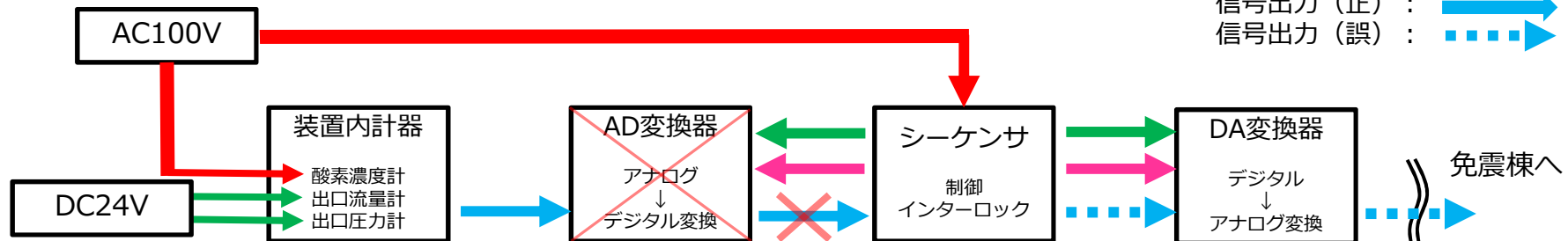
## 4. 免震棟集中監視室の指示値が一定であった原因

- 窒素ガス分離装置(B)のパラメータは、装置内の計器から各制御器を経由して免震棟集中監視室に伝送される。
- 原因調査の結果、AD変換器の不具合発生と同時に「FX3U-4AD電源異常」警報が発報した。また、計器からの信号を変換・伝送できず、不具合発生時の信号がシーケンサに保持された状態となったため、免震棟へ一定の値として伝送されたと考えられる。

推定原因		調査結果	可能性
AD変換器の不具合	内部要因	AD変換器のDC24V電源ランプが消灯。 新品のAD変換器に交換後の運転確認において、パラメータは正常に表示、DC24V電源ランプが点灯。	○
	外部要因(電源供給有無)	電圧測定で入力電圧(DC24V)を確認、電源の供給に異常はない	×
他の制御器の不具合		再現性確認において、他の制御器の異常はない(警報なし)	×
免震棟側の異常(受信ができない)		窒素ガス分離装置の運転をB/CからA/Cへ切替の際、A/C運転のパラメータに異常はない	×

### 当該警報が免震棟集中監視室に発報されない理由

窒素ガス分離装置の運転停止に関わる警報について、免震棟集中監視室に伝送する設計としていた為、当該警報は免震棟集中監視室に伝送されなかった。



※不具合によりAD変換・伝送できなかった(不具合時の出力をシーケンサ内で保持)

## 5. AD変換器の不具合の原因

原因調査の結果、AD変換器内のヒューズが開放していたこと及び黒色の粉の混入を確認。AD変換器上面のスリット部に黒色の粉が堆積されたことから、スリット部からの黒色の粉の混入により、回路が短絡したことでヒューズが開放し、回路への電源供給が絶たれたため、AD変換の機能が喪失したと考えられる。

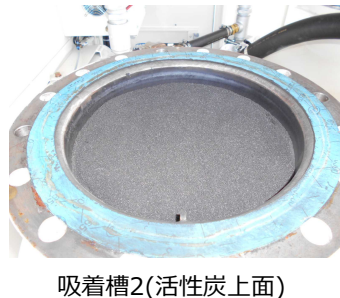
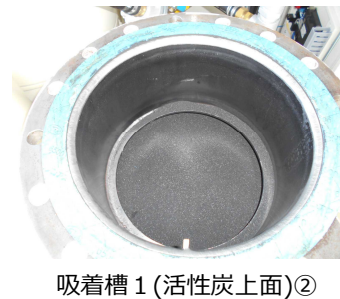
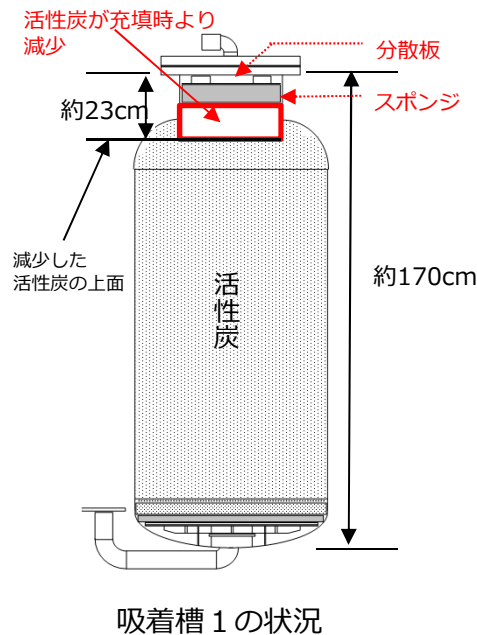
推定原因	調査方法	調査結果	可能性
電源供給回路の異常 (単一故障、異物、塩害等)	分解調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>AD変換器内に黒色の粉を確認。</li> <li>導通確認により、AD変換器内ヒューズ開放を確認。</li> <li>AD変換器内に塩の付着・腐食、黒色の粉以外の異物付着の形跡なし。</li> <li>その他外力による単一故障の形跡なし。</li> </ul>	○
給電部の接触端子不良	端子のゆるみ確認	ゆるみがないことを確認。	×
給電部のケーブル断線	導通確認	受電部の電圧測定の結果、異常がないことを確認。	×



## 6. 黒色の粉の発生箇所、流出経路等の調査

黒色の粉の発生箇所、流出経路、系統への流入有無を特定するため、構成機器の点検及び調査を行った。

目的	構成機器	点検結果
黒色の粉の発生箇所の特定	活性炭槽	活性炭槽の活性炭の減少・細粒化なし(①)
	吸着槽1・2	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸着槽1の活性炭の減少・細粒化を確認(②)。内部や構造物に異常なし。黒色の粉は吸着槽1の活性炭によるもの。</li> <li>吸着槽2は異常なし。</li> </ul>
黒色の粉の系統への流入有無	出口フィルタ	フィルタの外側に活性炭が付着、内側に付着なし(③)→フィルタから下流への流入なし。
黒色の粉の流出有無	サイレンサ	サイレンサの不織布(内側)に活性炭の付着を確認。活性炭は管と不織布外周の隙間より装置外へ流出。

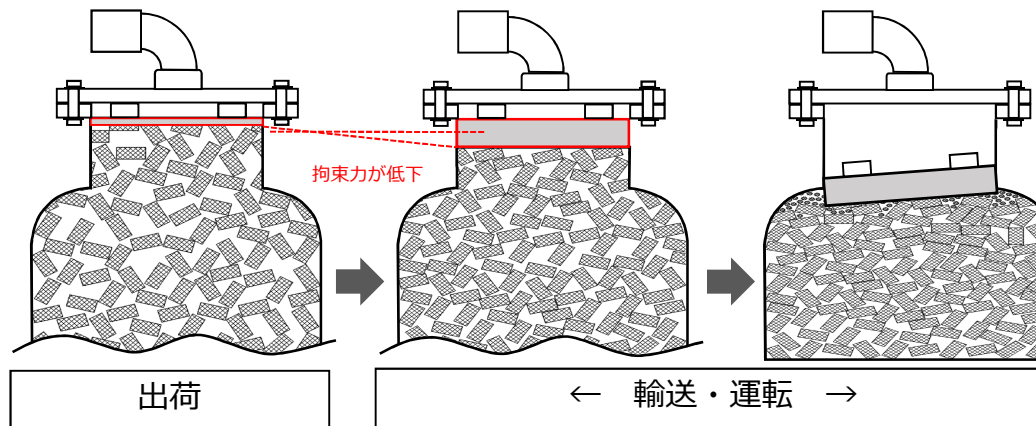


### 調査結果

- 黒色の粉は、当該装置の吸着槽1内に充填されていた活性炭が細粒化し、吸着槽の下流側にある装置内のサイレンサから排出されて、当該装置内に飛散したと考えられる
- 活性炭の粉はフィルタにより捕集され、フィルタより下流には流入していないと考えられる。

## 7. 吸着槽内活性炭の細粒化推定メカニズム

1. 吸着槽内における活性炭の充填密度は、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、製造時には加振を行う等活性炭の緊密化を行っているが、製品によりばらつきが生じることが避けられない。
2. 充填状態に粗な部分がある場合、輸送時およ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内の活性炭が密になっていくことにより活性炭の充填高さが低下していく。
3. これが進行すると、下図に示すようにスポンジによる活性炭の拘束力が低下し、吸着槽上部の活性炭に遊びが生じることでフレットングへとつながり細粒化が発生することとなる。



出荷  
通常時においては、活性炭をスポンジの収縮による弾性力によって拘束している

← 輸送・運転 →  
活性炭充填高さが低下してくるとスポンジが膨らみ拘束力が低下していく。

スポンジによる拘束力が無くなると、吸着槽内上部の活性炭に遊びが生じて運転時の流体の流れにより相互のフレットングが生じて細粒化する



細粒化のメカニズム上、活性炭の充填後、緊密化の進行およびそれに伴う充填材高さの低下が発生する場合があるため、充填作業はメーカーの経験（ノウハウ）に基づいた手順・要領で、充填状態に粗な部分できないように実施される。また、出荷前には追加充填し充填状態の調整をしている。

⇒細粒化のメカニズム上、活性炭の充填後、緊密化の進行およびそれに活性炭の充填高さの低下が発生する場合がある。

吸着槽 1 については、工場出荷後においても吸着槽内の緊密化が十分でないところが一部あったと考えられること、輸送時および据付時の振動もしくは運転時の流体の流れにより、吸着槽内の活性炭が密になっていったことで、活性炭の充填高さが低下し、吸着槽上部の活性炭に遊びが生じることで細粒化が進んだものと考えられる。



## 8. 事象の推定原因

- ① 当該装置の吸着槽 1 内に充填されていた活性炭が細粒化し、吸着槽の下流側にある装置内のサイレンサから排出されて、当該装置内に活性炭が飛散した。
- ② 飛散した活性炭が当該装置内のAD変換器のスリットから内部に混入したことにより、回路が短絡したことでヒューズが開放し、回路への電源供給が絶たれたため、AD変換の機能が喪失した。  
AD変換器の不具合により、計器からの信号を変換・伝送できず、不具合発生時の信号がシーケンサに保持された状態となったため、免震棟集中監視室に伝送される指示値が一定になったと考えられる。
- ③ また、AD変換器の不具合による現場警報が免震棟に発報されない設計であったことから、当直員は機器の異常を検知することができなかった。

## 9. 対策について

### ■ 吸着槽の活性炭流出の防止対策

活性炭の緊密化として、充填高さが変わらなくなるまで、活性炭の充填高さの確認と補充を実施する。

### ■ 装置内の制御器等保護の対策

活性炭細粒化の可能性を否定できないことから、サイレンサの排気を窒素ガス分離装置の外部に排出できるよう改造を行う。

(A号機についてもB号機と同一製品であることから同様な対策を実施する)

### ■ 警報の見直し

窒素ガス分離装置の警報のうち、運転停止に関わるものについて、免震棟集中監視室に伝送する設計としていた。今回の事象を踏まえ窒素ガス分離装置の現場警報について、免震棟集中監視室に発報（または検知）されるよう改造を行う。

#### 【補足】

窒素ガス分離装置(B)の不具合が確認された箇所以外について、異常は確認されていないが、飛散した活性炭の影響が懸念されることから、必要に応じて点検や部品の交換等を実施する

- 確認された活性炭はフィルタにより捕集され、フィルタより下流には流入していないことから、窒素封入系統への影響はなかったと考えられる。
- 機能確認において、装置内酸素濃度計の指示値「0.0%」（窒素濃度100.0%）が確認されたことから、不具合が確認された4月21日から24日の運転期間において、原子炉格納容器へ封入する窒素濃度は99%以上を満足していた状態であり、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られる。

## 【参考1】警報発生と4月21日以降の運転パラメータ

### ■ 警報発生（現場盤警報履歴にて確認）

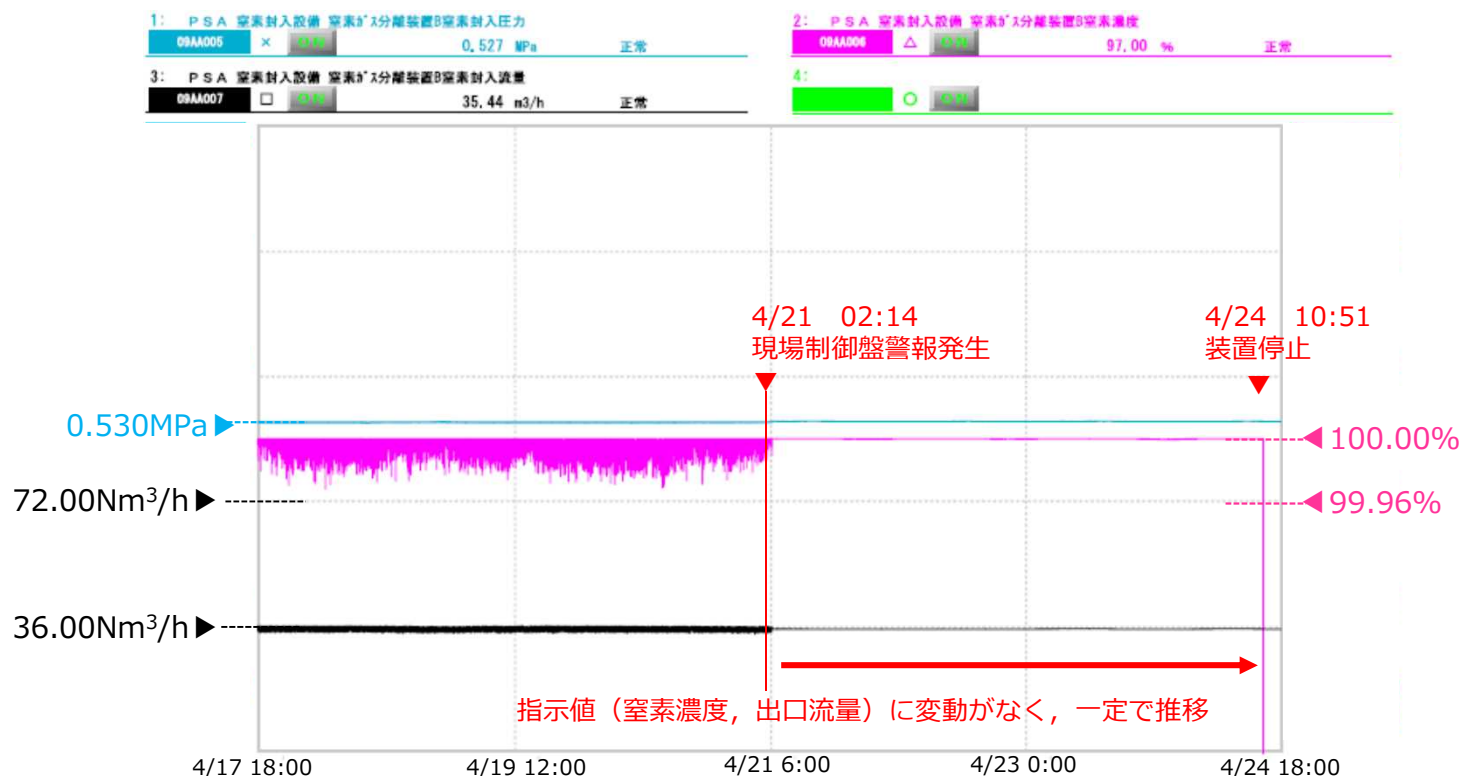
4月21日 2:14 窒素ガス分離装置(B)の現場操作盤に警報が発生

警報名「FX3U-4AD電源異常」\* 24V電源が正常に供給されていない場合に発報

→ 免震棟集中監視室には発報されない

### ■ 運転パラメータ

4月21日 2:14以降、窒素ガス分離装置Bの窒素濃度及び出口流量の指示値に通常の変動がなく一定となっている。



## 【参考2】「運転上の制限逸脱からの復帰」時の運転パラメータ

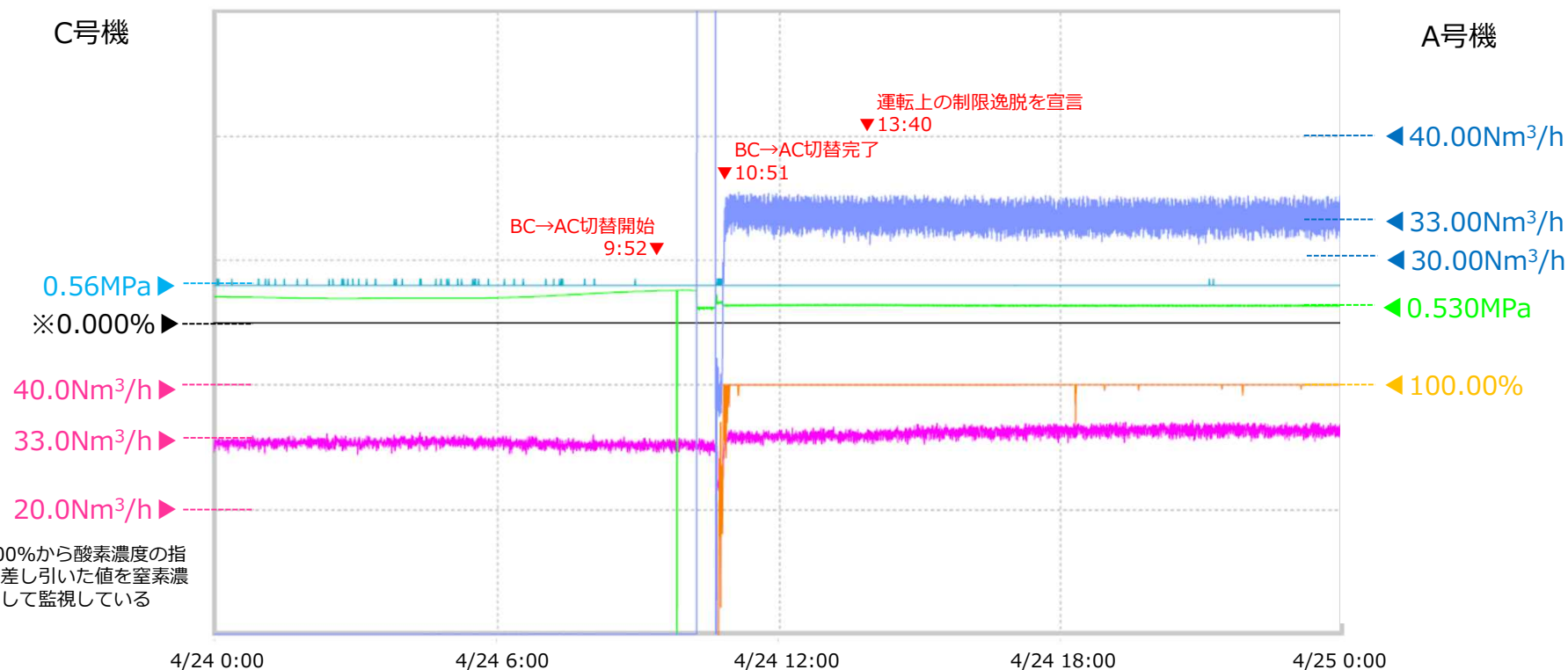
### ■ 運転パラメータ

4月24日 13:40 窒素ガス分離装置 A / C の窒素濃度及び 1 ~ 3 号機の窒素封入量の指示値に異常がないことを確認。

1: PSA_DR 窒素吐出圧力① (C号機)	09CA001	0.56 MPa	正常
2: PSA_DR 窒素吐出流量① (C号機)	09CA002	33.4 Nm <sup>3</sup> /h	正常
3: PSA_DR 含有酸素濃度① (C号機)	09CA003	0.000 %	正常
4: P S A 窒素封入設備 窒素ガス分離装置A窒素封入圧力 (A号機)	09AA001	0.528 MPa	正常
5: P S A 窒素封入設備 窒素ガス分離装置A窒素濃度 (A号機)	09AA002	100.00 %	正常
6: P S A 窒素封入設備 窒素ガス分離装置A窒素封入流量 (A号機)	09AA003	32.21 m <sup>3</sup> /h	正常

C号機

A号機



※100%から酸素濃度の指示を差し引いた値を窒素濃度として監視している

## 【参考3】窒素封入設備 概要一覧

系統全体として現在の総封入量は、**約66Nm<sup>3</sup>/h**である。

各々の窒素ガス分離装置は、**現在の総封入量以上の容量**があり、**1台運転での系統維持**が可能である。

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

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

## 【参考4】活性炭槽の状況確認

活性炭槽の上蓋フランジを開放した結果、活性炭は細粒化されておらず、活性炭の総量も充填時と同等であったことを確認した。

そのため、装置内に飛散した黒色の粉は活性炭槽の活性炭である可能性は低いと考えられる。



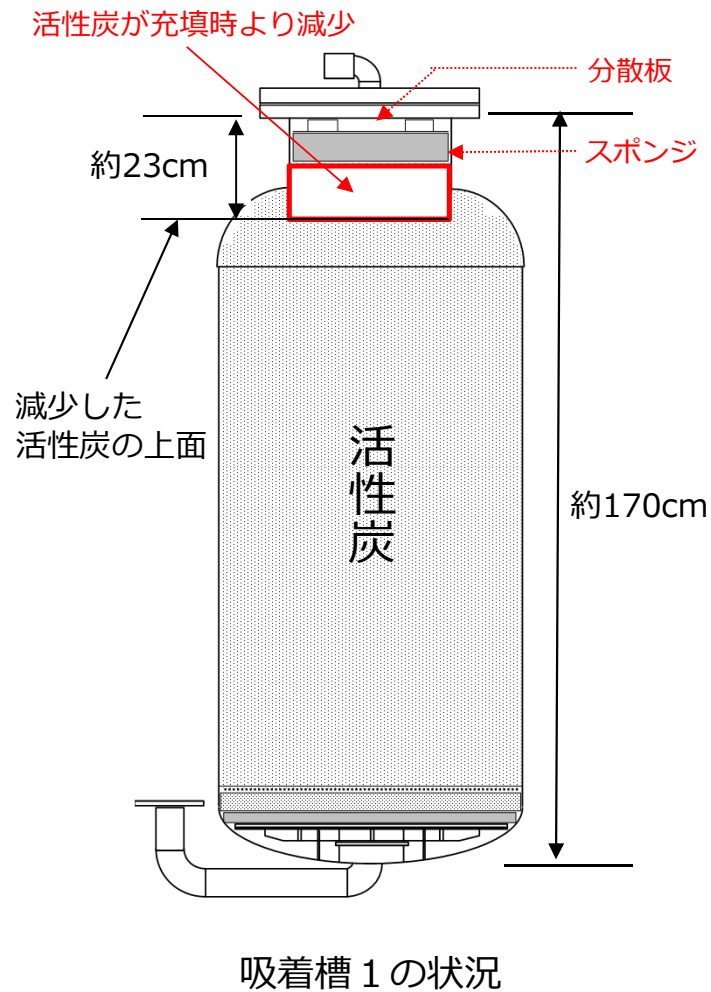
細粒化された形跡なし



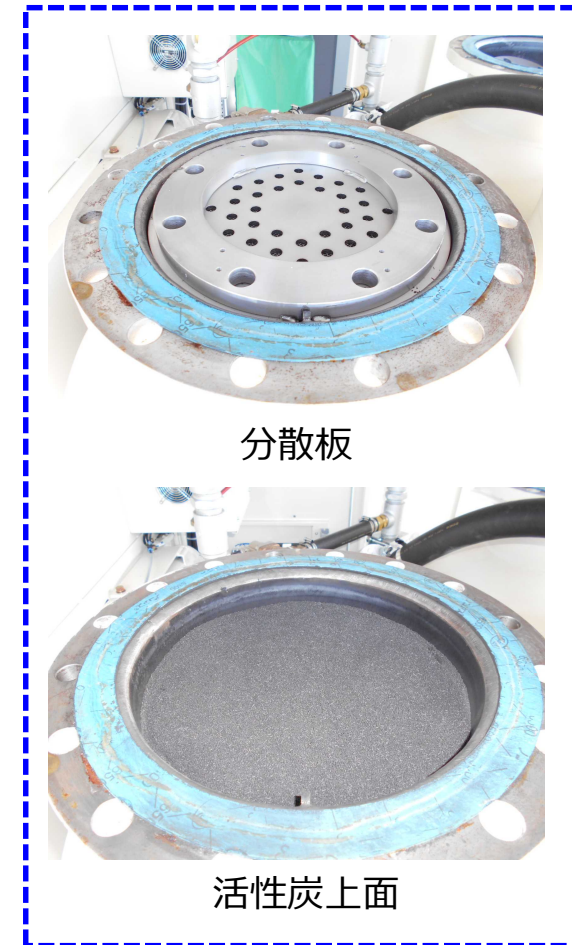
活性炭総量に変化なし

## 【参考5】吸着槽の状況確認

吸着槽 1 に活性炭の減少及び細粒化を確認。飛散した**黒色の粉**は吸着槽 1 の**活性炭が細粒化されたもの**と考えられる。



吸着槽 1



吸着槽 2



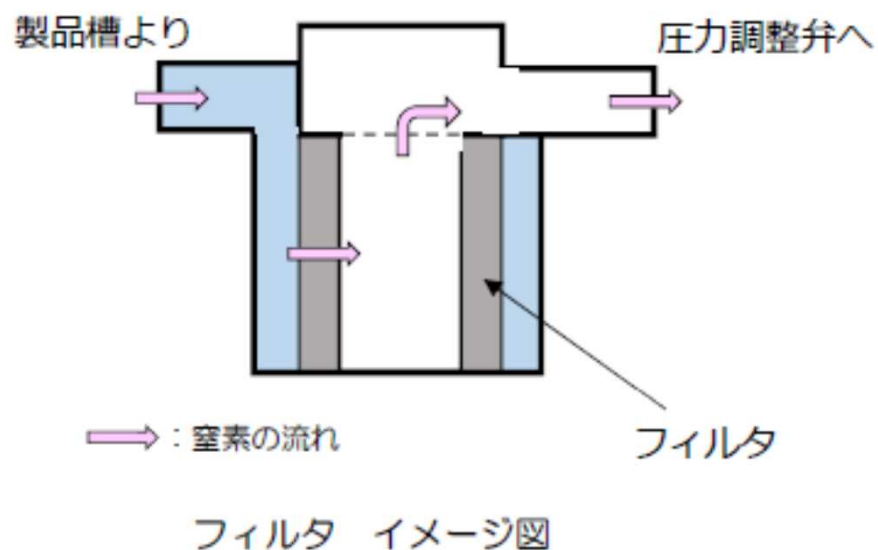
## 【参考6】 吸着槽1の活性炭細粒化の要因分析について

吸着槽の開放確認の結果、活性炭充填高さの低下が確認されたため、**充填高さの低下による活性炭拘束力の低下に起因して活性炭のフレットィングが発生**し、細粒化につながったものと考えられる。

推定原因		調査方法	調査結果	可能性
活性炭の不良	指定された活性炭以外のものを充填	製造履歴の確認、開放点検	メーカー指定の活性炭が充填されていることを確認。開放点検の結果、指定の活性炭であることを確認。	×
活性炭の充填不良	充填作業の不良による細粒化	製造履歴の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>メーカーが定める手順・要領で充填されていたこと確認。</li> <li>充填作業は必要な力量を満たす者が実施していることを確認。</li> </ul>	×
活性炭のフレットィング	充填高さの低下による活性炭拘束力の低下	開放点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>活性炭の充填高さの低下が確認され、分散板やスポンジによる吸着材の拘束が解放されていることを確認。</li> <li>吸着槽の上部側で細粒化した活性炭を確認。</li> </ul>	○
	吸着槽内部構造物の損傷による活性炭拘束力の低下	開放点検	開放点検の結果、内部構造物の損傷や変形等がないことを確認。	×
	吸着槽の切替不良による過流量の発生	運転確認（再現性試験）	圧力等のパラメータに異常がないことを確認	×
	異物の混入による細粒化	開放点検	開放点検の結果、異物等の混入は確認されなかった。	×

## 【参考7】 出口フィルタの状況確認

フィルタ表面に黒色の粉が捕集されていることを確認した。内面には黒色の粉が透過した痕跡がなかったことから、黒色の粉はフィルタにより捕集され、**フィルタより下流には流入していない**と考えられる。



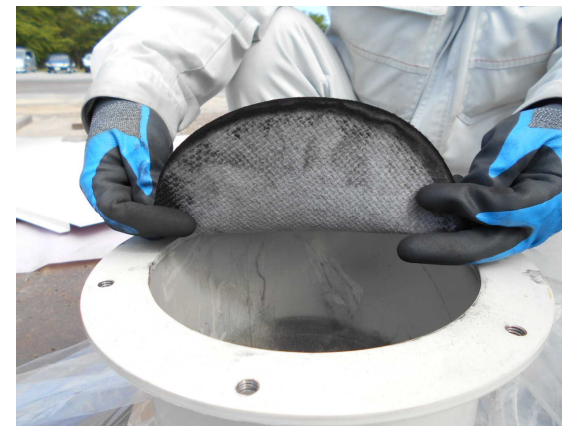
## 【参考8】サイレンサの状況確認

サイレンサ構成部品である不織布に細粒化された活性炭が付着していることを確認した。この結果から、**活性炭の大部分は、サイレンサの不織布で捕集出来なかったものが、管と不織布外周の隙間より装置外へ流出したものと考えられる。**

装置内サイレンサ



不織布は本来白色であるが、全面的に黒色の粉が付着している状況



裏面は白色

## 【参考9】窒素ガス分離装置（B）の窒素供給機能の確認

- 窒素ガス分離装置（B）の再現性確認の結果
  - 運転確認により、装置内酸素濃度計の指示値「0.0%」（窒素濃度100.0%）が確認された。また、窒素ガス分離装置の動作状態も正常であったことから、機能（窒素濃度99%以上のガス精製）は維持されていたと考えられる。
  - 装置のサイレンサから活性炭の粉が排出されることを確認した。

