

高レベル廃液ガラス固化建屋 過負圧事象に対する調査結果報告について

1. はじめに

2018年2月8日、高レベル廃液ガラス固化建屋においての建屋換気設備の工程制御盤の設備点検が終了し、復旧作業を行う際に建屋換気設備送風機Bが停止し一時的に過負圧状態になった。ただし、その後の対応により建屋換気設備は通常状態に復旧した。

なお、建屋換気設備送風機Bが起動できなかった原因は安全系監視制御盤の操作スイッチの接点不良による可能性があり、調査を行うことを2018年5月25日までにご報告させて頂いた。(添付資料-1、2参照)

今般、当該安全系監視制御盤の操作スイッチの調査結果がまとまったことから、今後の保守管理と併せて本資料にて説明を行う。

2. 調査結果

安全系監視制御盤から取外した後の操作スイッチの外観の様子は図1の通りであり、調査結果を以下表1に示す。

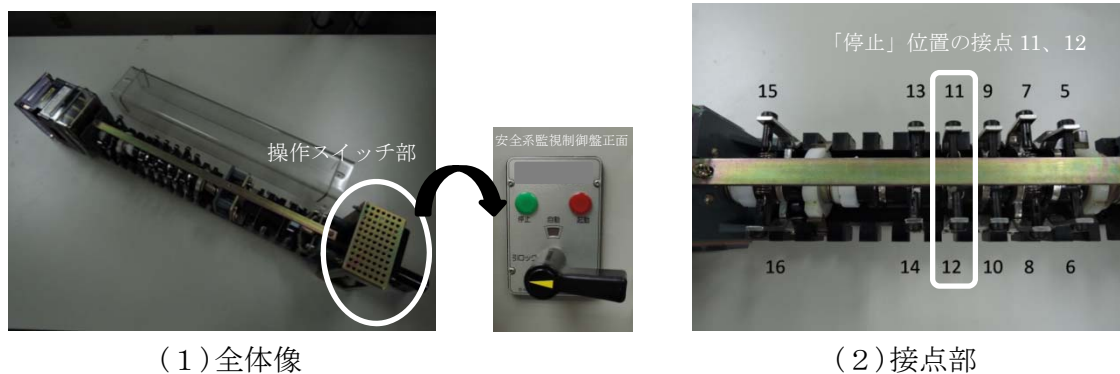


図1. 操作スイッチの外観

表1. 操作スイッチの調査結果

(1/2)

No.	調査項目	調査結果	備考
1	外観検査	操作スイッチの外観および機構部、接点部に变形、腐食等の異常なし。	
2	再現性確認	今回問題となった停止位置において、継続出力ONが確認され事象は再現せず。	
3	接触抵抗測定	今回問題となった停止位置の値について、製品納品時の管理値と同程度の値が得られており、導通がなくなる状態ではなく異常なし。	
4	導通検査	操作スイッチのコネクタ端子とスイッチ端子間の導通をテストにて確認したが異常なし。	
5	操作性確認	操作スイッチを操作し、機構のガタつき、引っかかきの有無を確認したが異常なし。	

No.	調査項目	調査結果	備考
6	配線検査	操作スイッチの端子部のゆるみの有無を触診にて確認したが異常なし。また、端子の圧着状態、はんだ付け状態を目視確認にて確認したが異常なし。	
7	接点接触圧測定	操作スイッチの捻回接点の接触抵抗圧を引っ張りゲージにて測定したが、管理値を満足しており異常なし。	
8	分解調査	操作スイッチの接点部を分解し、変形、腐食、異物の付着等の有無を実体顕微鏡およびSEM(走査型電子顕微鏡)にて確認したが、対象接点(固定側、可動側)において、変形、腐食、異物、堆積物は確認されなかった。	図2.～図5. 参照
9	成分分析	分解調査した接点について、接点表面の成分をエネルギー分散型X線分光器にて元素分析を行ったところ、めっき成分であるNiの他に塵埃由来のSiが検出された。	図2.～図5. 参照

操作スイッチの再現性確認において、工場調査では事象が再現せず、外観、接触抵抗、導通、操作性、配線、接点接触圧および分解調査のいずれの調査においても、今回の事象の原因と考えられる結果は確認されなかった。

一方、成分分析において図3.に示す通り、接点12の固定側にてめっき成分であるNiの他に塵埃に由来するSi成分が検出されたことから、今回発生した接点の動作不良は、塵埃が当該接点に付着し、接触抵抗が変動したことにより発生したものと推定する。

【推定メカニズム】

- (1) 操作スイッチの接点は図6.に示す通り捻回型の接点であり、事象発生時までに「停止」位置の接点12の固定側に塵埃が付着した。
- (2) 操作スイッチの「停止」位置の接点中央部にて接触抵抗が高くなり、一時的に導通しない状態になった。
- (3) これにより、安全系監視制御盤における停止操作を行った際、1回の停止操作で2回停止指令が出力される^{※1}という操作スイッチの接点不良が発生した。
- (4) 当該接点不良が原因で過負圧事象の発生に至った^{※2}。
- (5) なお、接点に付着した塵埃は事象発生からメーカー工場での詳細調査までの間に剥がれ落ち、操作スイッチの調査では塵埃が確認されなかった。

※1：添付資料-2に示す通り、事象発生後の現場調査において、安全系監視制御盤にある建屋送風機Bからの停止指令が通常は1ショットで出力されること、1回の停止操作で2回停止指令が出力されたことが確認されている。

※2：事象発生時の各種動作を以下に記載する。

- ・建屋送排風機Bを安全系監視制御盤起動からOIS起動とするために、OISにて建屋送風機Bを起動操作した。この際、機器の停止時間を極力短くするためにOISからの起動指令を事前に出力継続状態に変更していた。
- ・安全系監視制御盤における停止操作開始時に1回目の停止指令が出力されたことで建屋送風機Bが予定通り停止した。
- ・既に出力済みのOISからの起動指令により建屋送風機Bが予定通り起動した。

- ・安全系監視制御盤における停止操作終了時に予定外の2回目の停止指令が出力されたことにより建屋送風機Bが停止した。
- ・安全系監視制御盤から起動操作を行ったがP/C側のしゃ断器を投入するための時間が確保できず建屋送風機Bが起動しなかった。
- ・建屋送風機Aが起動するまでの間、建屋送風機が2台停止となり、一時的に過負圧状態となった。

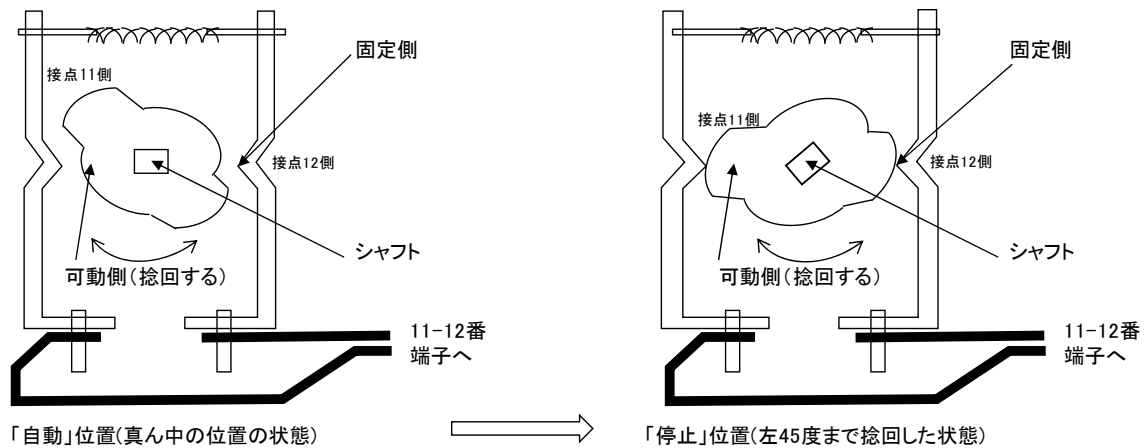


図 6. 操作スイッチの接点部のイメージ図

3. 今後の保守管理

安全系監視制御盤の操作スイッチは複数の接点を様々な組合せで使用できる特徴があり、機械的寿命：25万回以上、電気的寿命：5万回以上に対し実動作回数は十分少ないことから故障する可能性は極めて低いものと考え、これまで操作スイッチ単体の点検は行っていなかった。

また、その後の調査により、補機のサーバランス運転等を目的に安全系監視制御盤の操作スイッチから定期的に起動/停止操作を行うものとそうでないものがあることが判明しており、当該建屋送風機Bは後者に該当する。

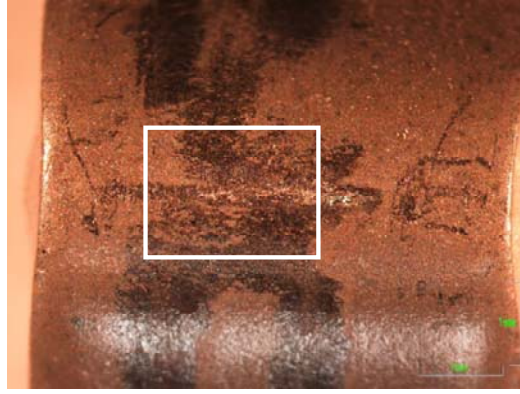
今回のように、操作スイッチが故障せずとも接点部位に塵埃が付着することで操作スイッチの接点不良が発生し、結果として過負圧事象に至ることが分かったことから、今後は以下の再発防止を図ることとする。

- (1) 操作スイッチの接点に対する塵埃の付着は、安全系監視制御盤での操作頻度が低いもので発生するものと推定されるため、安全系監視制御盤に設置されている安全上重要な機器のうち、操作頻度の低い操作スイッチを点検することで塵埃の付着を予防する。
- (2) 安全系監視制御盤に設置されている操作スイッチの予備品を確保し、異常時には速やかに交換できる体制とする。

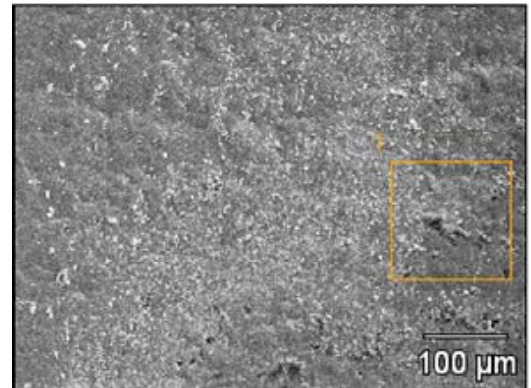
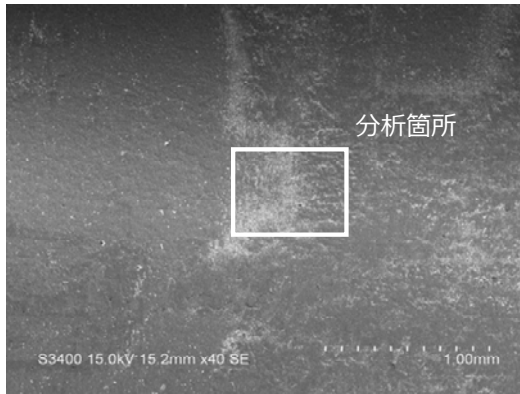
4. 添付資料

- (1) 高レベル廃液ガラス固化建屋 過負圧事象に対する今後の対応について (2018年5月25日面談実施)
- (2) 高レベル廃液ガラス固化建屋 過負圧事象について (2018年2月15日面談実施)

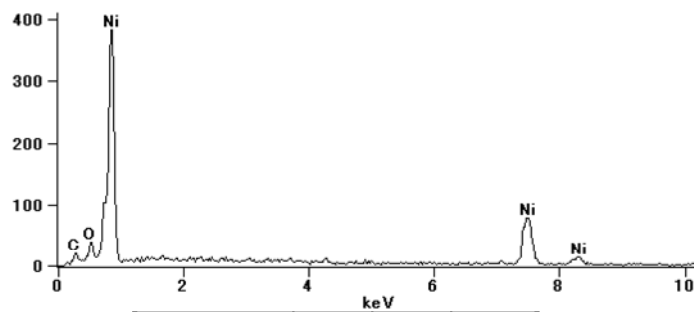
以上



(1) 電子顕微鏡による表面観察結果



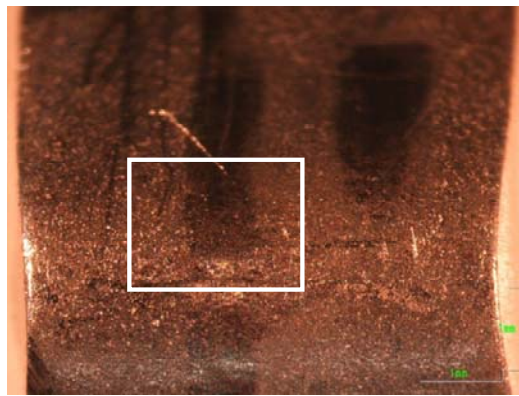
(2) SEM 観察結果 (上記部位を拡大)



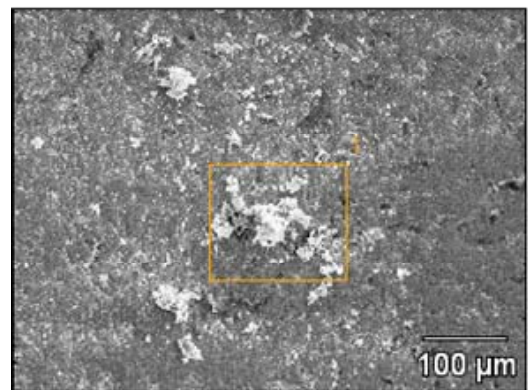
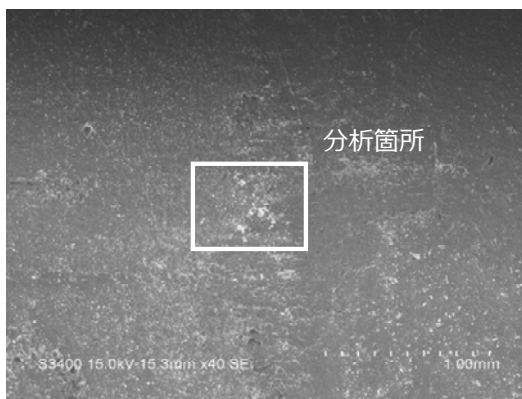
検出元素	C	O	Ni
重量濃度%	3.48	2.97	93.55

(3) 元素分析結果

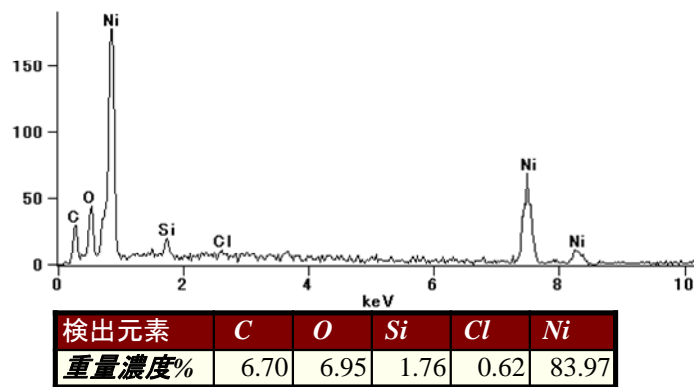
図 2. 表面観察および元素分析の結果 (接点 11: 固定側)



(1) 電子顕微鏡による表面観察結果

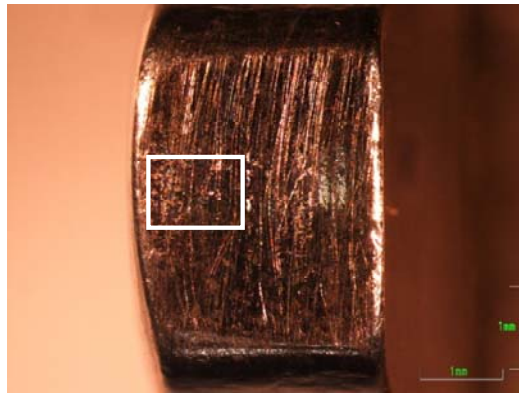


(2) SEM 観察結果 (上記部位を拡大)

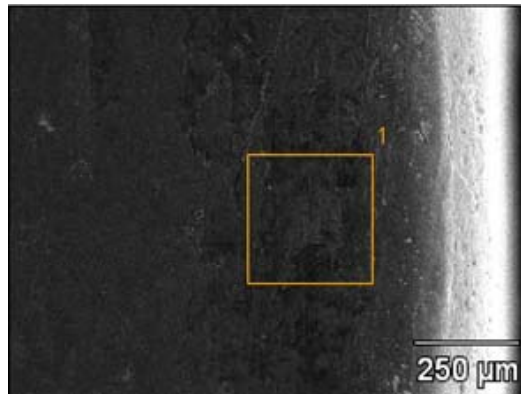


(3) 元素分析結果

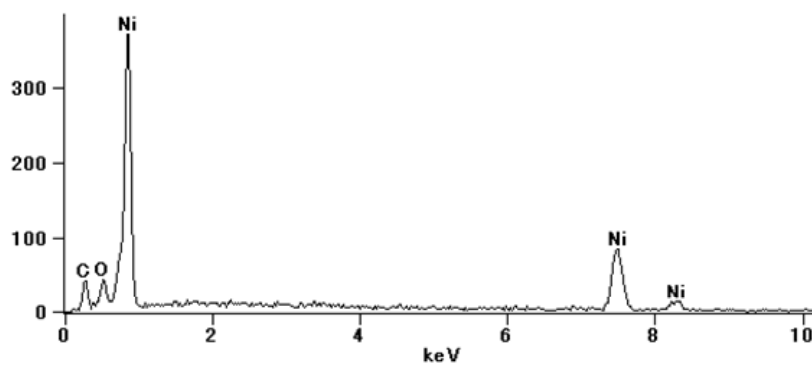
図 3. 外観および元素分析結果 (接点 12 : 固定側)



(1) 電子顕微鏡による表面観察結果



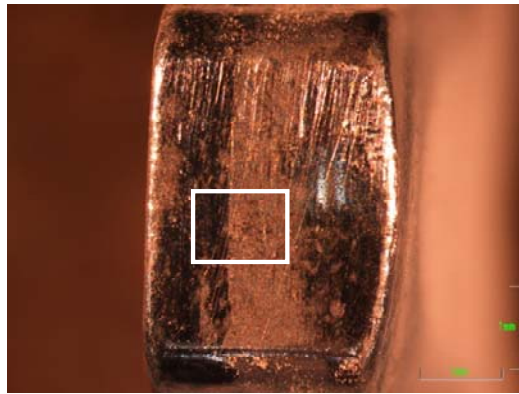
(2) SEM 観察結果 (上記部位を拡大)



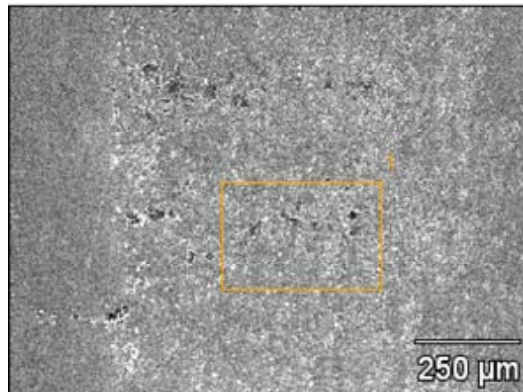
検出元素	C	O	Ni
重量濃度%	6.13	4.91	88.96

(3) 元素分析結果

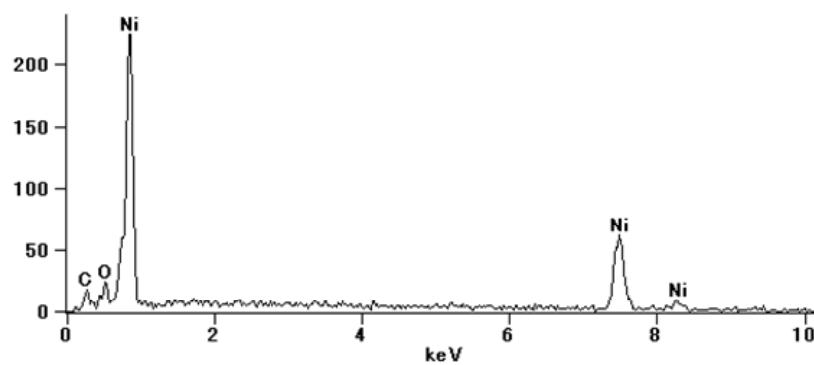
図 4. 外観および元素分析結果 (接点 11: 可動側)



(1) 電子顕微鏡による表面観察結果



(2) SEM 観察結果 (上記部位を拡大)



検出元素	C	O	Ni
重量濃度%	4.64	3.32	92.04

(3) 元素分析結果

図 5. 外観および元素分析結果 (接点 12 : 可動側)

2018年5月25日
日本原燃株式会社
再処理事業部

高レベル廃液ガラス固化建屋 過負圧事象に対する今後の対応について

1. はじめに

2018年2月8日、高レベル廃液ガラス固化建屋において建屋換気設備の工程制御盤の設備点検が終了し、復旧作業を行う際に建屋換気設備送風機Bが停止し一時的に過負圧状態となったこと、建屋換気設備送風機Bが起動できなかった原因は安全系監視制御盤の操作スイッチの接点不良が発生した可能性があったことを2月15日にご報告させて頂いた。(添付資料-1 参照)

現在までの間に建屋換気設備を通常運転状態(建屋換気設備送・排風機A系、B系共に起動状態)に復旧したこと、また操作スイッチの調査までの工程が確定したことから、本資料にて説明を行う。

2. 建屋換気設備の通常運転状態への復旧について

事象が発生した当時の機器の状態は、建屋換気設備の送風機Aが起動、それ以外の機器(排風機等)はB系が起動状態であった。(なお送風機Bは操作スイッチを引ロック状態とした停止隔離状態であった。)この状態では、機器故障時の自動起動が出来ないことから、より安全側の状態とするため、通常運転状態に復旧することとした。

通常であれば接点不良が想定される操作スイッチ交換もしくは修理した上で復旧操作にあたるが、今回操作スイッチの予備品を保有していなかったため、この状態で復旧操作することへの影響評価を事前に行った上で、リスク評価表及び保守作業実施計画書に反映した上で、3月9日に復旧を実施した。

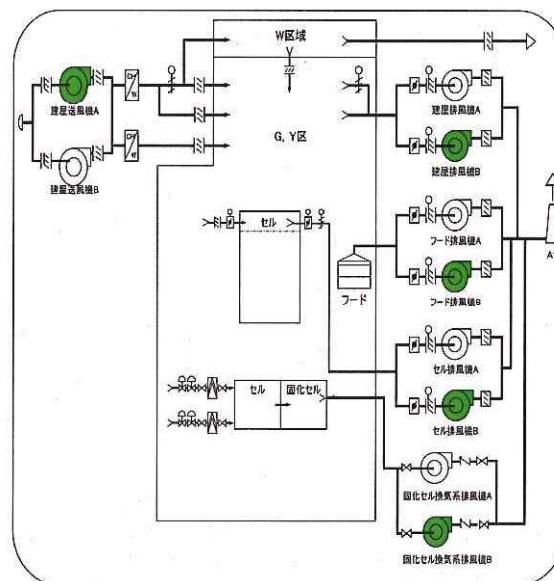


図1 建屋換気設備(事象発生当時の送・排風機の状態)

復旧作業の内容および復旧作業を行うに当たり、追加したリスク評価は以下のとおりである。

a. 復旧作業の内容

- (1) 建屋送風機Bの操作スイッチの引ロックを解除する。
- (2) 建屋送風機Aを安全系監視制御盤にて停止する。
- (3) 速やかに建屋送風機BをOISにて起動する。
- (4) 建屋換気設備をOISにて通常運転状態（建屋換気設備送・排風機A系，B系共に起動状態）とする。

b. 追加したリスク評価

- (1) 建屋送風機2台停止状態を短縮する観点から、速やかに切替操作ができるよう操作場所（安全系監視制御盤及びOIS）に操作員をそれぞれ配置する体制とする。
- (2) （操作スイッチからの信号は出力されていたものの、OISからの起動信号を出力継続状態にしたことも送風機停止の1つの要因であることから）現場制御盤の建屋換気設備の起動信号ワンショットタイマーの変更（起動信号の維持）は実施せず、運転員の操作（ワンショット信号）で建屋送風機Bを起動する。
- (3) 負圧状態に影響を与える事象が生じた場合には、安全機能を確保する行為を優先するため建屋送風機Aを安全系監視制御盤にて起動する措置を実施する。

3. 操作スイッチの調査について

前述したように操作スイッチの接点不良の可能性のあるものの、操作スイッチの予備品を保有していなかったことから、今後操作スイッチを調達した上で交換を行い、調査を実施する。工程表は以下のとおり。

表1 操作スイッチの調査工程表

	2018年									
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
操作スイッチの調達	■									
			納期約5ヶ月							
操作スイッチの交換						■				
						交換作業				
取外した操作スイッチの工場調査						■				
						調査期間約3ヶ月				

工場での調査内容は抵抗測定や導通確認等を行った上で分解調査及び必要に応じ成分分析等を行い、原因調査を踏まえた上で今後の対策について検討する。なお操作スイッチの予備品の調達については調査と並行して準備を進める。

以上

2018年2月15日
日本原燃株式会社
再処理事業部

高レベル廃液ガラス固化建屋における過負圧事象について

1. 発生概要

高レベル廃液ガラス固化建屋の建屋換気設備の工程制御盤の設備点検に伴い、2月5日に建屋換気設備をB系運転メンテナンスモードとした上で、送・排風機の起動を監視制御盤（以下、「O I S」とする）起動から安全系監視制御盤起動に変更していた。

2月6日、7日に部品交換を終え、2月8日9時31分に工程制御盤の電源を起動し、健全性を確認した上で11時55分から系統隔離復旧作業を実施した。

以下の送・排風機について順次安全系監視制御盤起動からO I S起動に移行していく際、12時31分に建屋換気設備送風機BをO I S起動とする操作を行ったもののO I S起動とならず、建屋換気設備送風機Bが停止した。このため、保修作業実施計画書の保安上必要な措置に従い、速やかに安全系監視制御盤から建屋換気設備送風機Bを起動操作したが起動しなかったため、建屋換気設備送風機Aを起動した。建屋換気設備送風機Aを起動するまでの間、送風機が2台停止となったため一時的に過負圧状態となったが、建屋換気設備送風機Aを起動し負圧が元の状態に復旧した。

負圧のトレンドを確認したところ、固化セルとY区域の負圧は逆転していないことを確認した。また、Y区域の圧力が深くなったことから、Y区域と固化セル間の差圧が小さくなったことにより、固化セル圧力高警報が発報し、安全上重要なインターロック作動により固化セル入口の隔離ダンパがON-OFF制御に移行した。なお、固化セル圧力は現在適用される状態外であり、保安上の問題はない。

[安全系監視制御盤起動からO I S起動に移行した機器の順番]

- ・非常用電気盤室送風機B
- ・冷凍機室・蓄電池室排風機B
- ・セル排風機B
- ・フード排風機B
- ・建屋送風機B ← O I S起動できず

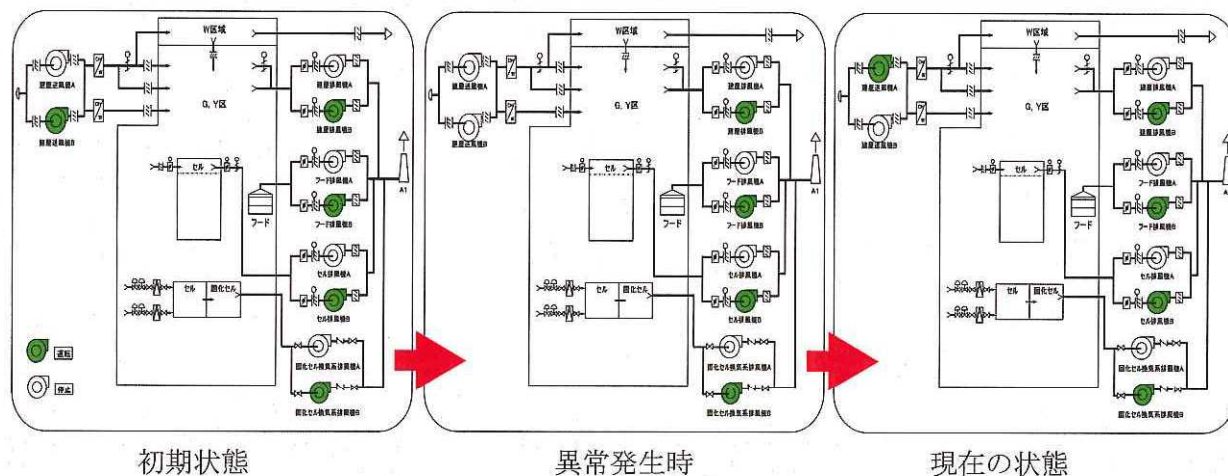


図1 建屋換気設備（現在の排風機の状態）

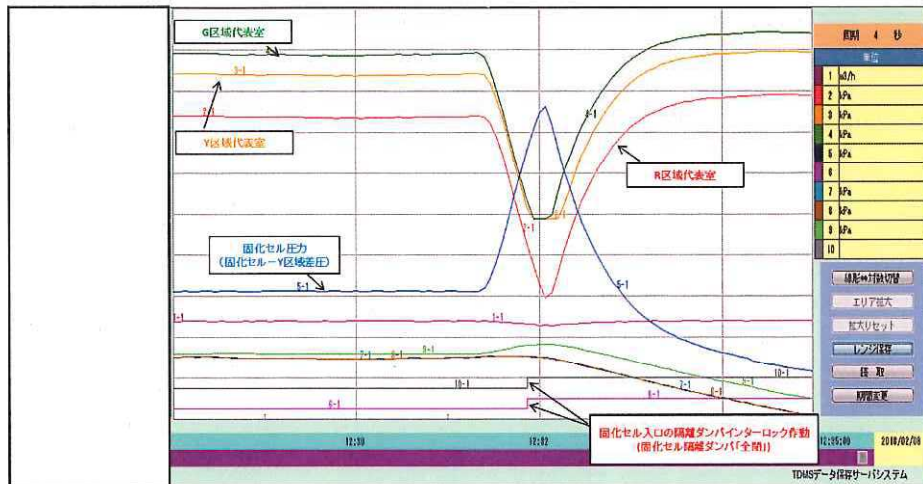


図2 高レベル廃液ガラス固化建屋 負圧トレンド

2. 時系列

- 9:31 電源隔離復旧 工程制御盤健全性確認作業開始
- 11:55 工程制御盤健全性確認作業終了
- 11:55 系統隔離復旧開始
- 12:13~12:29 各送排風機のO I S起動移行作業
- 12:29 O I Sにて建屋送風機B「起動」信号を予め入力
- 12:31 安全系B監視制御盤にて建屋送風機B「停止」→「自動」操作
- 12:31 O I S信号にて建屋送風機Bが起動しなかったため、安全系B監視制御盤にて建屋送風機B「自動」→「起動」操作を実施したが、起動せず
- 12:31 建屋送風機A、Bが2台停止状態
- 12:31 セル内圧力 1A, 2A, 1B, 2B 高発報 (固化セル入口の隔離ダンパのインターロック作動)
- 12:31 建屋送風機A「起動」…安全系A監視制御盤
- 12:31 過負圧により、G-Y 区域差圧代表室負圧が測定下限値となった (G-Y 負圧逆転の可能性があると判断) (12:31:55~12:32:04 9sec)
- 12:32 第6ブロック当直長から統括当直長へ連絡
- 12:39 統括当直長による放送 退避指示、作業中断指示、マスク着用指示、入域制限指示
- 12:40 モニタ類異常なし 放管直から統括当直長へ連絡
- 12:51 建屋送風機B「引ロック」(統括当直長指示)
- 12:58 送風機は安全上重要な機器ではないこと、安全上重要なインターロックが作動したが、適用される状態ではないことから通報連絡基準の「B情報」にはあたらないと判断
- 13:05 G-Y サーベイ結果 (スミヤ) 異常なし 放管直から統括当直長へ連絡
- 13:06 Y-R の負圧逆転なしと判断 (統括当直長)
- 13:13 モニタ類およびサーベイ結果に異常がないためマスク着用解除可能であることを放管直から統括当直長へ連絡
- 13:22 統括当直長による放送 作業制限解除、マスク着用解除、入域制限解除
- 17:45~18:26 各排風機インクライナ制御 開度固定運転→自動運転復旧
- 18:55~19:04 固化セル隔離ダンパ ON-OFF 制御復旧

3. 現場調査内容

以下にインターロックブロック線図（以下、「IBD」という）を示す。安全系監視制御盤から起動するとハードロジックで排風機が起動するロジックになっている。

現場を確認したところ、建屋送風機Bは外観上異常がないこと、またP/Cにおいても異常表示はなかった。これらの状況を踏まえ、2月9日に現場調査を行った。

現場調査はP/Cをテスト位置にすることで負荷と切り離し、安全系監視制御盤から建屋送風機Bの起動・停止操作を行い起動信号ライン上の信号出力をリレー等の動作を目視確認することで実施した。

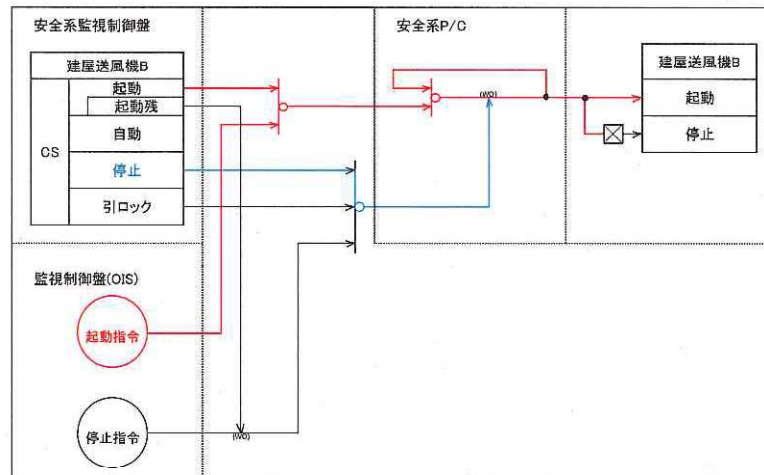
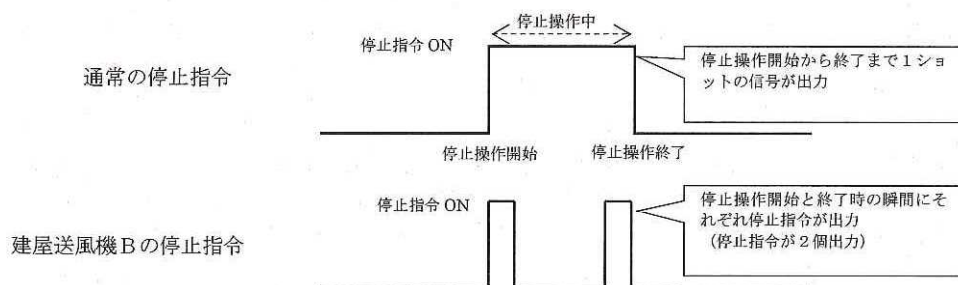


図3 建屋送風機B IBD

現場調査の結果、安全系監視制御盤にある建屋送風機Bの操作スイッチからの停止指令が、通常であれば1回の停止操作中は1ショットの停止信号が出力される場所、1回の停止操作でも停止操作開始と終了時の瞬間にそれぞれ停止指令が出力（停止指令が2回出力）されることがわかった。なお調査は6回実施し、うち2回再現することを確認した。

これは操作スイッチの接点不良が考えられる。



注) 横軸は時間

図4 停止操作指令 概要図

4. 建屋送風機Bが起動しなかった要因

現場調査を踏まえ、建屋送風機Bが起動しなかった要因は以下のとおりである。

(1) 通常時の機器の操作指令に対する状態

通常時の機器の起動・停止の操作指令は、安全系監視制御盤でもOISでも1ショット信号で出力される。建屋送風機Bの場合、P/Cで起動信号を自己保持することにより運転を継続する。

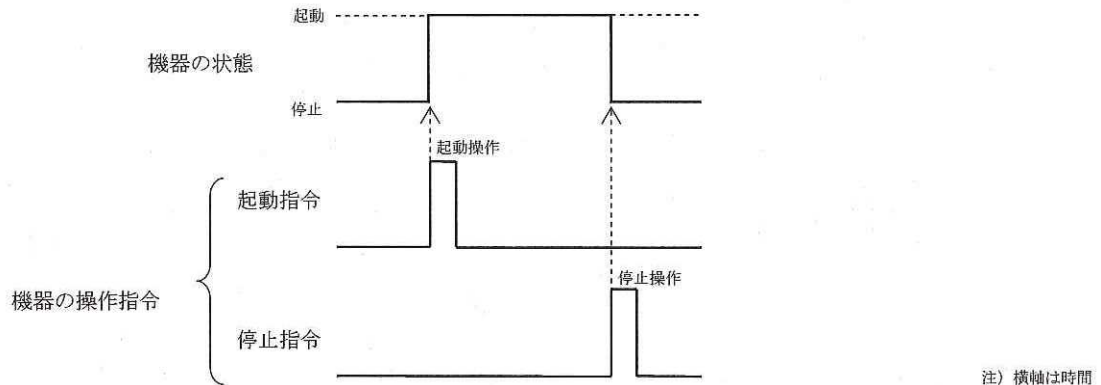


図5 通常時の機器の操作指令に対する状態 概要図

(2) 安全系監視制御盤起動からOIS起動への移行

今回、設備点検に伴う送・排風機の起動を安全系監視制御盤起動からOIS起動へ移行することを検討するにあたり、機器の停止時間を極力短くするため、OISからの起動指令を通常1ショットである起動信号を出力継続状態に変更した上で、安全系監視制御盤の停止操作が終了するとOISからの起動に切り替えることとしていた。

なお、今回実施した高レベル廃液ガラス固化建屋における建屋換気設備の工程制御盤の設備点検は、電源ユニット等の部品交換を実施するため当該制御盤を停止させたが、この作業はアクティブ試験開始後初めてのことであった。このため保守作業実施計画書を作成し、切替え操作時に差圧逆転が生じる恐れのある場合は安全系監視制御盤からの起動に移行することとしていた。

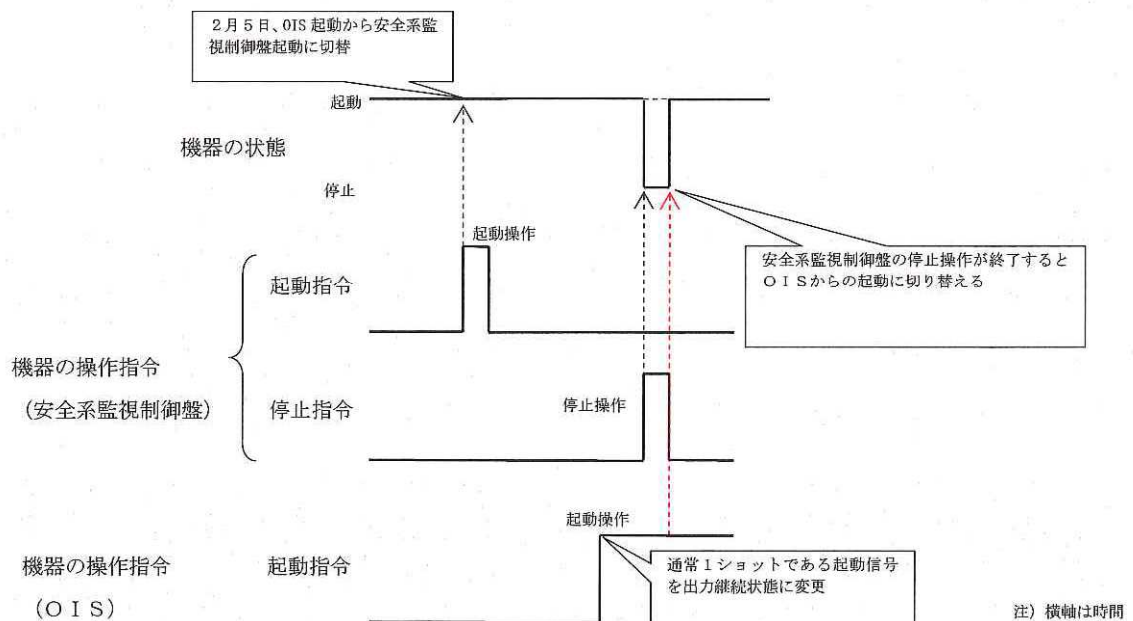


図6 安全系監視制御盤起動からOIS起動への移行 概要図

(3) 建屋送風機Bにおける安全系監視制御盤起動からO I S起動への移行

今回、建屋送風機Bを安全系監視制御盤起動からO I S起動に移行する際、前述のように停止操作1回行った際に停止指令が2回出力された。

P/Cによる機器の起動の仕組みは、投入スプリングをONすることによりしゃ断器を投入し、機器に電源を供給する。この投入スプリングをONできる状態（以下、「畜勢」とする）にするには、2.4～10秒程度の時間を要する。また畜勢が完了していない間は投入スプリングがONできないよう、保護回路が働くようになっている。（なお一度停止信号が入ると保護回路がリセットされる。）

これらを踏まえ、建屋送風機Bは以下のように動作した。

- ① 停止操作指令開始時、瞬時に停止指令が出力され、建屋送風機Bが停止した。
- ② 停止指令が出力されなくなると、O I Sからの起動信号が出力されるため、P/Cの投入スプリングがONされしゃ断器が投入され、建屋送風機Bが起動した。
- ③ 停止操作終了時、瞬時に停止指令が出力されたため、建屋送風機Bが停止した。
- ④ 停止操作が終了し停止指令が出力されなくなると、再度O I Sから起動信号が出力される。
- ⑤ P/Cまで起動指令が出力されるもの、停止操作が約1秒程度であり、1度起動してから2度目の起動までの時間も0.5秒程度と想定される。このため投入スプリングが畜勢される時間を確保できず、建屋送風機Bは起動しなかった。

また2度目の起動信号により保護回路が働いたため、再度畜勢され且つO I Sから起動信号が出力されていてもP/Cのしゃ断器が投入されず、建屋送風機Bは起動しなかった。

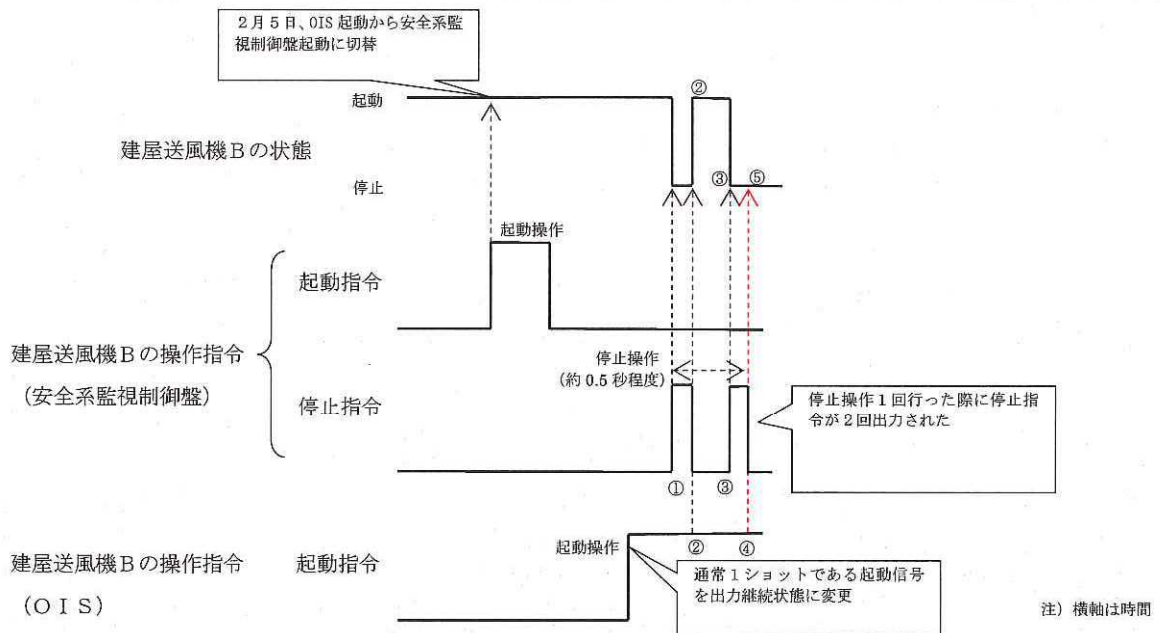


図7 建屋送風機Bにおける安全系監視制御盤起動からO I S起動への移行 概要図

5. 今後の対応

上記に記載したように操作スイッチが接点不良となる可能性について原因調査を行うと共に、操作手順の検討に不足がなかったか、今後更なる深堀調査を行い対策を実施する。