

再処理工場 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋における非常用無停電交流電源装置 Bの故障について（原因と対策）

1. はじめに

2016年6月27日0時38分、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の制御室（以下「F制御室」という。）の安全系監視制御盤2および監視制御盤において、非常用無停電交流電源装置B（以下「FA-UPS-B」という）に係る「UPS-B 故障」および「UPS-B 予備電源運転中」警報が発報し、その後これらの警報はリセットできたが、現場に設置しているFA-UPS-Bにおいて「ゲート用制御電源異常」警報のリセット操作ができなかったことから故障であると判断した事象について、設備の健全性確認および原因究明が終了したため報告するものである。

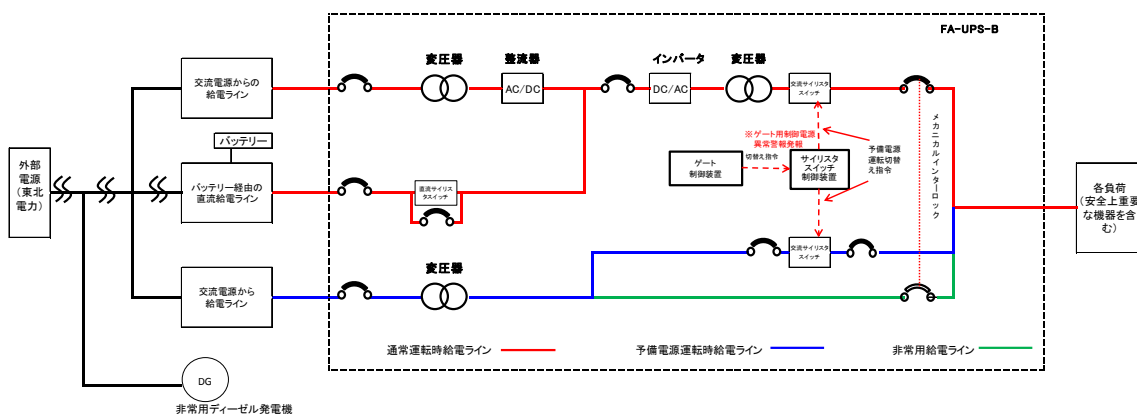
2. 主な時系列

2016年6月27日

- 00:38 F制御室の安全系監視制御盤2および監視制御盤において「UPS-B 故障」および「UPS-B 予備電源運転中」警報発報
- 00:38 安全系監視制御盤1Bに「凍結防止制御盤B 異常」警報および監視制御盤に「FA-V-J101B（非常用）異常」警報発報
- 00:38 当直長から当直員へ警報対応を指示するとともに統括当直長へ報告
- 00:39 当直員は、現場の換気空調制御盤Bにて「コントローラ故障」、「AC電源喪失」警報発報を確認。リセット操作を行いF制御室の「FA-V-J101B（非常用）異常」をリセット。
- 00:40 当直員は、FA-UPS-Bにて「ゲート用制御電源異常」警報発報を確認。現場盤にてリセット操作を行い、F制御室の「UPS-B 故障」をリセット。但し、「ゲート用制御電源異常」はリセットできなかった。
（「ゲート用制御電源異常」警報のリセット操作に係る対応手順書が制定されていない。）
- 00:42 当直長から統括当直長へ連絡
- 00:49 統括当直長は、FA-UPS-Bの故障のおそれと判断し、念のため当直員へ設備に求められる状態外の巡視点検にて、UPS、CHG、BAT（A系）の健全性確認を行うとともにFA-UPS-Bを動作可能な状態に復旧する措置を指示
- 00:56 当直員が現場の安全冷却水系膨張槽配管凍結防止用電気ヒータ制御盤Bにて「計測制御電源断」の警報を確認。リセット操作を行いF制御室の「凍結防止制御盤異常」をリセット。
- 01:00 巡視点検の結果、UPS、CHG、BAT（A系）について異常がないことを確認
- 01:05 統括当直長から関係部課長に対し、六ヶ所対応会議へ召集するよう連絡

- 01:11～ 01:11 01:11 01:30 01:54 02:05 02:16～ 02:30～03:00 02:30～03:00 02:51 03:00～03:10 03:10 03:40 03:55 04:11 04:32
- 保修部門の課長が当直に対し状況の確認
- 保修部門の課長から施設を担当する保修員へ召集の連絡を開始
- 第 1 報発信 (A 情報 安全上重要な機器の故障のおそれ 安全協定第 12 条対象外として通報)
- 頃 当直員は、FA-UPS-B の負荷先の非常用無停電交流分電盤内の遮断器が入状態であることを確認
- 六ヶ所対応会議 設置
- 第 2 報発信 (A 情報 安全上重要な機器の故障のおそれ 安全協定第 12 条対象外として通報)
- 召集を受けた保修員が事業所に到着
- 頃 保修部門課長および召集を受けた保修員が六ヶ所対応会議に参集
- 頃 参集した保修員が状況確認を開始
- 第 3 報発信 (A 情報 安全上重要な機器の故障のおそれ 現場調査開始 安全協定第 12 条対象外として通報)
- 頃 召集を受けた保修員が現場へ移動
- 頃 保修員が現場確認を開始
- 頃 現場確認を開始した保修員が FA-UPS-B の出力切替盤内のプリント板に「ゲート用制御電源異常」を示す LED の表示を発見。
 しかしながら、本警報が発生する原因は特定できなかった。
- 頃 統括当直長は本警報が発生する原因が特定できず、FA-UPS-B の健全性が確認できないことから故障と判断。
- 予備負荷運転より非常用給電ラインへ切替実施
- 第 4 報発信 (A 情報 安全上重要な機器の故障 安全協定第 12 条対象外として通報)

3. 非常用無停電交流電源装置の設備概要



図－1 FA-UPS-B 概要図

4. 事象発生時の状況

2016年6月27日0時38分、F制御室の安全系監視制御盤2および監視制御盤において、FA-UPS-Bに係る「UPS-B 故障」および「UPS-B 予備電源運転中」警報が発報した。また、同時刻に安全系監視制御盤1Bに「凍結防止制御盤 B 異常」、監視制御盤に「FA-V-J101B（非常用） 異常」警報が発報した。

当該警報を受け、直ちに当直員による現場盤（使用済燃料受入れ・貯蔵建屋計装電気品 B 室、補助盤室、電気品区域：非管理区域）の警報を確認したところ、以下の警報を確認した。

- ①FA-UPS-B：「ゲート用制御電源異常」※¹
- ②安全冷却水系膨張槽配管凍結防止用電気ヒータ制御盤 B：「計測制御電源断」
- ③換気空調制御盤 B：「コントローラ故障」、「AC 制御電源喪失」

上記の警報を確認した当直員は、予め定められた手順に従い異常警報のリセット操作を行ったところ、「UPS-B 故障」、「凍結防止制御盤 B 異常（計測制御電源断）」および「FA-V-J101B（非常用） 異常（コントローラ故障、AC 制御電源喪失）」の異常警報はリセットできたが、FA-UPS-Bにおいて「ゲート用制御電源異常」の異常警報がリセットできなかつたことから、統括当直長にその旨連絡し、統括当直長は00時49分FA-UPS-Bの故障のおそれと判断した。また、当直員は、A系側のUPS装置の点検を行い、1時00分、非常用無停電交流電源装置Aが健全であることを確認した。

その後、復旧作業のため招集した保修員が3時40分頃にUPS-Bの出力切替盤内のプリント板※²を確認したところ、「ゲート用制御電源異常」を示すLED※³の表示を発見した。

保修員は、プリント板内で「ゲート用制御電源異常」を示すLEDが表示されているが、原因は不明である旨を統括当直長に報告し、3時55分に統括当直長は、FA-UPS-Bが故障であると判断した。

- ※1 ゲート用制御電源異常：FA-UPS-Bの制御装置故障や出力電圧降下等に伴う電源異常を検出して発報する。
- ※2 プリント板：非常用無停電交流電源装置の制御回路に用いる電子部品が固定、配線されている部品で出力切替盤のサイリスタ制御装置に組み込まれている。
- ※3 LED：FA-UPS-B通常運転中に出力電圧降下を検知し、LEDを点灯するとともに予備電源運転時給電ラインに強制的に切り替える。

【換気空調制御盤 B】

【安全冷却水系膨張槽配管凍結防止用電気ヒータ制御盤 B】

【非常用無停電電源装置 B】



図-2 警報発生状況

5. 安全機能への影響

FA-UPS-B が故障発生時において、非常用無停電交流電源装置 A（以下、「FA-UPS-A」という。）は健全な状態で運転されており、A 系の冷却機能等の安全機能は維持されている。万が一、外部電源が喪失した場合においても、第 1 非常用ディーゼル発電機 A からの給電までの間はバッテリーにより給電されることから、安全上の影響はない。また、FA-UPS-B においても非常用給電ラインを經由して外部電源が給電されており、FA-UPS-A と同様に B 系の冷却機能等の安全機能は維持されている。万が一、外部電源が喪失した場合、第 1 非常用ディーゼル発電機 B から給電されるまでの間、当該 UPS に接続されている安全系監視制御盤 1B 等からの監視が一時的に不能となるが、安全冷却水ポンプ等の動的機器は第 1 非常用ディーゼル発電機 B からの給電開始により自動的に給電されることから、安全上の影響はない。

6. 原因調査

(1) 要因分析

「ゲート用制御電源異常」は、FA-UPS-B の出力電圧降下等に伴う電源異常を検出して発報する警報であるが、表 1 のとおり要因分析をしたところ、事象発生前後において、外部電源及び所内電源系に電圧の異常は確認されておらず、また、

FA-UPS-B の負荷側においても、作業や操作は行っていないことから FA-UPS-B 本体以外の系統で電源異常が発生した可能性は極めて低く、FA-UPS-B 本体の内部故障により電源異常が検出されたと推定された。

表 1 要因分析

想定要因	要因内容	調査・点検	確認結果	判定
外部電源（東北電力）の電圧変動による一時的な電圧降下	外部電源側事故に伴う一時的な出力電圧降下が発生	外部電源の電圧に変化がないこと	外部電源に電圧変化なし	×
UPS 入力電圧変動による一時的な電圧降下	所内電源の切替ないし事故に伴う一時的な出力電圧降下が発生	所内電源系統の電圧に変化がないこと	所内電源系統に電圧変化なし	×
負荷側の作業や操作による短絡・地絡による一時的な電圧降下	負荷側の短絡・地絡によって過電流が流れ一時的な出力電圧降下が発生	負荷側の作業や操作の有無	負荷側の作業や操作は行っていない	×
		UPS 過電流検出警報	UPS 過電流警報は発生していない	
		負荷側回路の絶縁抵抗測定	測定結果異常なし	
FA-UPS-B 本体の内部故障	FA-UPS-B 本体の内部故障により、一時的な出力電圧降下が発生	FA-UPS-B 本体の内部故障の有無	FA-UPS-B 本体の内部故障の有無を点検・調査する必要あり	○

×：可能性低 ○：可能性高

（2）FA-UPS-B 本体の内部故障による異常発生メカニズム

FA-UPS-B の負荷側制御盤の異常はリセットができたことおよび FA-UPS-B に「ゲート用制御電源異常」以外の警報が発生していないことから、FA-UPS-B が通常運転中に内部故障により一時的に出力電圧降下が発生したことにより、「ゲート用制御電源異常」（LED 表示）が発報し、通常運転時給電ラインから予備電源運転時給電ラインに切り替わるとともに「UPS-B 故障」および「UPS-B 予備電源運転中」警報を発報したと推定される。

(3) FA-UPS-B の直近の点検実績

FA-UPS-B は、1996 年に設置・使用開始しており、点検周期は 1 回/年で行っている。直近の点検は 2015 年 8 月 31 日から 9 月 9 日で実施しており、異常は確認されなかった。

7. FA-UPS-B 本体の内部故障に係る点検・調査

(1) FA-UPS-B 本体の内部故障が想定される部位と点検・調査方法

FA-UPS-B 本体の内部故障により、一時的な出力電圧降下が発生する可能性のある以下の 4 箇所の部位について、点検・調査を行うこととした。

- ①インバータ：故障が発生した場合、常用給電側の出力が停止し出力電圧降下が発生する可能性がある。無負荷試験^{※4}、負荷試験^{※5}（模擬、実負荷）にて動作確認を行う。
- ②交流サイリスタスイッチ：故障が発生した場合、常用給電側の出力が停止し出力電圧降下が発生する可能性がある。無負荷試験、負荷試験（模擬、実負荷）にて動作確認を行う。
- ③ゲート制御装置：故障が発生した場合、サイリスタスイッチ制御装置へ誤信号を送り常用給電側の交流サイリスタスイッチが OFF となり、出力電圧降下が発生する可能性がある。無負荷試験、負荷試験（模擬、実負荷）にて動作確認を行う。
- ④サイリスタスイッチ制御装置：故障が発生した場合、交流サイリスタスイッチが誤動作により OFF となり出力電圧降下が発生する可能性がある。無負荷試験、負荷試験（模擬、実負荷）にて動作確認を行う。

また、一時的な故障要因の可能性が考えられることから、打診による振動の影響、ドライヤー等による温度変化を与えて異常の有無を確認する。

- ※4 無負荷試験：負荷に電流を流さないで行う試験。試験中に一故障が発生しても負荷に影響はない。
- ※5 負荷試験：負荷に電流を流して行う試験。試験中に一故障が発生した場合、負荷に影響が発生するため、健全性の確認が十分でない場合は、模擬負荷を接続して行う。

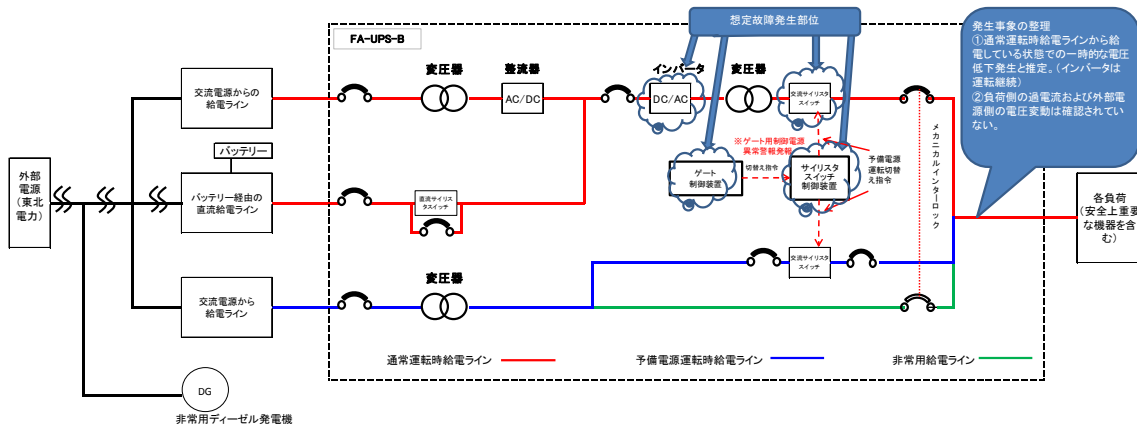


図-3 FA-UPS-B 概要図 (故障想定部位)

(2) 点検・調査結果

点検・調査について下記日程にて行った。

UPS-B故障に伴う点検・調査 工程表(実績)

	2016年																														
	年		月																												
	日	27	29	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19		
FA-UPS-B故障発生		■																													
作業準備		■																													
① 現地試験 (1回目)			■																												
-インバータ無負荷試験			■																												
-模擬負荷試験				■																											
-部品点検(目視点検、打診・加温試験、電圧試験)								■																							
-サイリスタ制御装置搬出														■																	
② 工場試験																															
-再現試験(動作試験)																															
-部品点検(目視確認・X線による断線確認・打診、加温、急冷試験)																															
-部品交換(T2)																															
-確認試験(動作試験)																															
-部品交換(R16)および試験																															
-サイリスタ制御装置搬出																															
③ 現地試験 (2回目)																															
-無負荷試験																															
-実負荷試験																															
-試運転																															

①現地試験 (1回目)

上記7 (1)に記載している、FA-UPS-B 本体の内部故障により一時的な出力電圧降下が発生する可能性のある①～④の部位について、点検・調査を現地にて行った結果、異常は確認されなかった。

しかしながら、③ゲート制御装置の試験において警報回路に係る部位ではあるが、警報を出力する動作時間の測定データにバラツキが見られたため、ゲート制御装置およびサイリスタスイッチ制御装置を工場に搬送し、部品レベルで詳細に点検を行うこととした。

②工場試験

FA-UPS-B 本体の内部故障が発生した場合、今回の出力電圧降下事象に至る可

能性のあるプリント板3枚について、目視確認、X線による断線確認、打診、加温、急冷試験を行った結果、異常は確認されなかった。




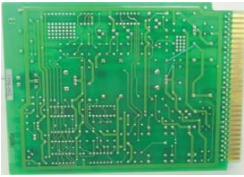
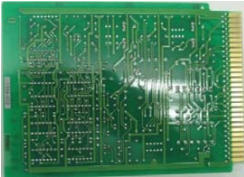

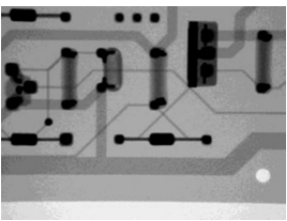
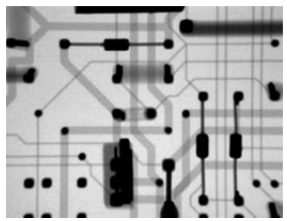
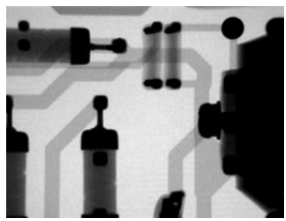
確認部分	プリント板名 (VSL19)	プリント板名 (VSL17)	プリント板名 (VZA13)
	バックアップ警報回路	サイリスタ切替回路	サイリスタゲート駆動回路
表面 (異常なし)			
裏面 (異常なし)			
X線写真 (異常なし)			

図-4 (1) 工場試験状況 (目視確認)



図-4 (2) 工場試験状況 (急冷試験)

しかしながら、現地調査時に警報を出力する動作時間の測定データにバラツキが見られたプリント板 VSL19 (バックアップ警報回路) に急冷試験を行った結果、動作に遅延する傾向があることが確認されたため、動作が安定するようトランジスタ及び抵抗の交換を行った。

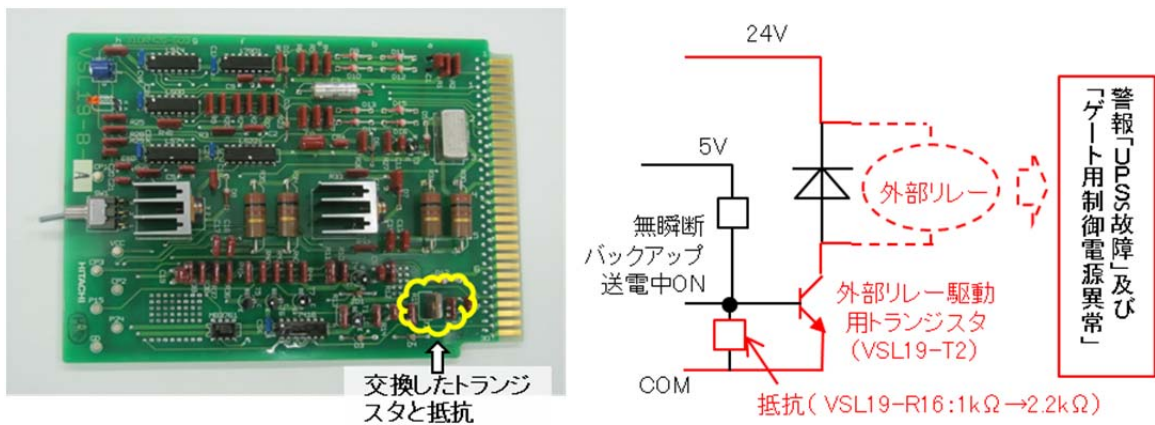


図-5 VSL19 部品交換 (写真、回路)

また、プリント板 VSL19 (バックアップ警報回路) に使用しているトランジスタと同じ型式のトランジスタがプリント板 VSL17 (サイリスタ切替回路) にも使用されていることから、同様に急冷試験を行ったが、異常は確認されなかった。

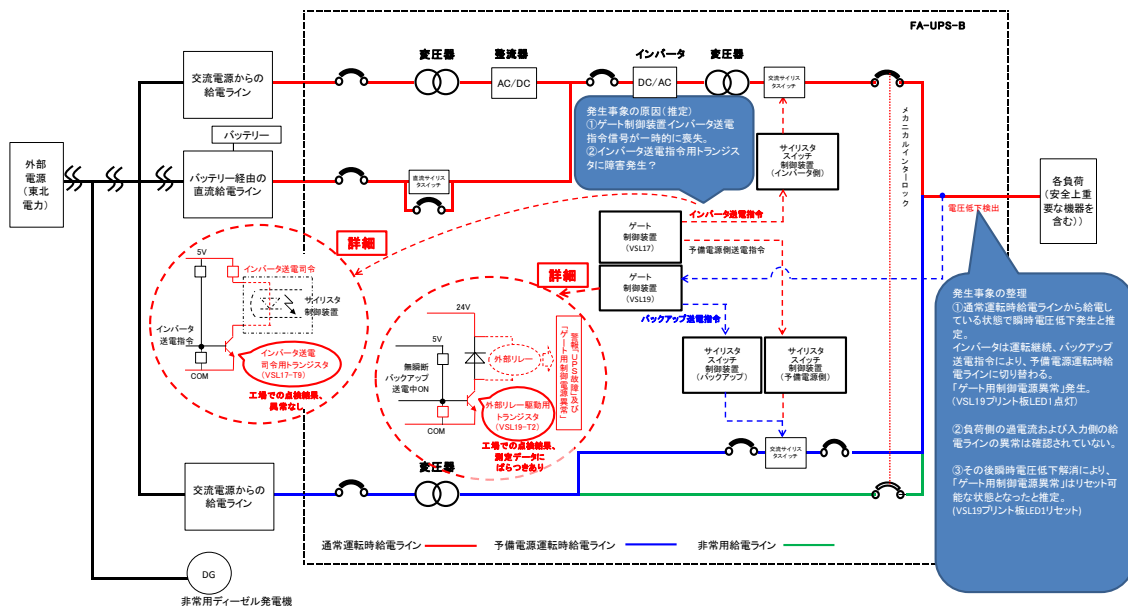


図-6 FA-UPS-B 概要図 (故障想定部位詳細)

③現地試験 (2回目)

②工場試験の後、ゲート制御装置およびサイリスタスイッチ制御装置を現地に搬入し、無負荷試験、負荷試験 (実負荷) により現地試験 (2回目) を行った結果、異常は確認されなかった。

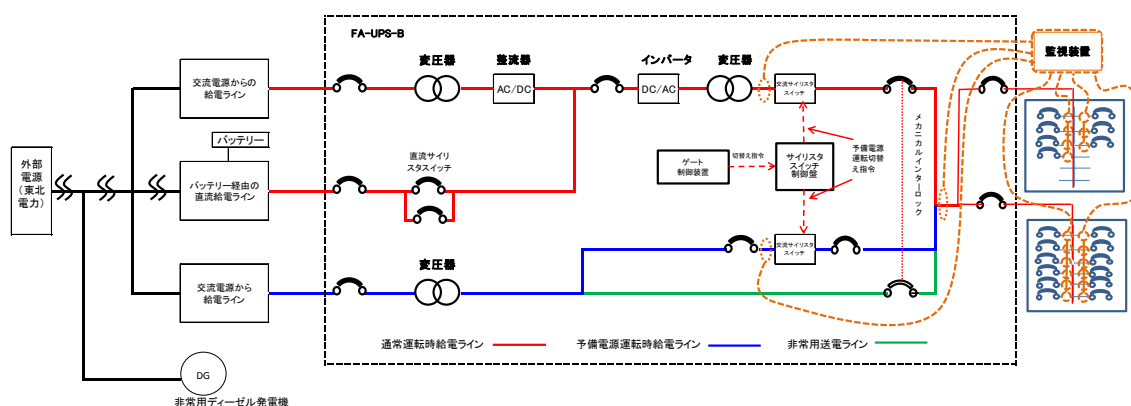
(3) 点検・調査結果のまとめ

現地試験（1回目）、工場試験および現地試験（2回目）の結果、故障の再現、異常は確認されず、故障原因は特定されなかった。

しかしながら、FA-UPS-B 本体の出力電圧が一時的に降下したことを検出し警報が出力されたことを踏まえ、FA-UPS-B 本体および負荷側の機器に電圧・電流の監視装置を設置し、約2週間運転確認試験（ヒートラン）を行った。

運転確認試験の結果、異常は確認されなかったことから、FA-UPS-B 健全であり復旧可能であると判断した。

なお、念のため、監視装置は設置したまま通常運転状態へ復旧した。（2016年8月22日復旧済み）



図一 7 FA-UPS-B 監視装置概要図

(4) 設備更新の計画について

FA-UPS-B および FA-UPS-A は設備更新を計画しており、現在、仕様検討を進めているところである。

設備更新にあたっては、本事象を踏まえ UPS が通常運転中、負荷側短絡等の影響により一時的な電圧降下によって、通常運転時給電ラインから予備電源運転時給電ラインに切り替わった後、切り替わった原因が除去され通常運転時給電ラインに復旧可能な場合は、自動で診断を行い復旧できる機能を持たせた UPS を選定することとする。

8. 設備故障の判断に係る問題点と今後の対応について

今回の事象に対する設備故障の判断について、0時38分の警報発報から03時55分の故障との判断に至るまで約3時間と時間を要している問題点について、異常事象発生時における初動対応の再検証を行い、今後の対応について整理した。

(1) 設備故障の判断遅れ

①異常事象発生時における初動対応

異常事象が発生した場合の措置として、拡大防止対策の初動対応は当直で実施することが基本であり、保安規定第 56 条において「統括当直長は、(中略) 直ちに事態の把握に努め、その状態の解消及び拡大防止に必要な措置を講じる。」と定めており、その状態の解消及び拡大防止に必要な措置について、同第 26 条「施設の操作について、事前に目的、手順、操作の結果及び想定した結果を逸脱した場合に採るべき措置を検討し手順書を定める。」に基づき予め定められた手順書に従い、当直員が異常状態の解消（リセット操作等）及び拡大防止として施設の安定化を図ることとしている。

一方、拡大防止対策・初動対応後に行う設備の故障等に伴う復旧措置は、関連する部署と協議しながら原因を調査し、保修部門の保修員が行うことになるが、これは当直員が施設の安定化や隔離措置等を行った上で行うことになる。

以上の通り、異常事象が発生した際は、当直員が拡大防止として施設の安定化を図り安全を確保する。その後、設備故障がある場合は、保修要員による復旧措置が行われることになる。

よって、異常事象発生時の初動における施設の安全確保は、一義的に当直員が担うものであり、保修員による措置は初動対応において必須となるものではない。

②設備故障の判断に係る再検証

今回の事象において、FA-UPS-B の異常警報が発報したことを受け、当直員は警報対応手順書に基づき異常警報のリセット操作を行うとともに、動作可能な A 系の UPS 装置に異常がないことを確認の上、監視を強化する措置をとり、異常の拡大防止を図るとともに、保修部門に連絡し、原因の調査等、復旧のための措置を開始したことから、初動対応としては問題なく対応できたと考える。

ただし、通報連絡の観点から振り返ると、03:40 頃、保修員による設備状態の確認まで当該設備の故障と判断が出来ず、安全上重要な機器の故障としての通報連絡が遅れたことについては、本来は当直員の初動対応における判断により UPS 装置が動作不能と判断すべきであったと考える。

(2) 「ゲート用制御電源異常」警報のリセット操作に係る対応手順書の改訂遅れ

「使用済燃料受入れ・貯蔵建屋における非常用無停電交流電源装置 A の故障について」(2016 年 5 月 16 日発生・公表) において、FA-UPS-A の警報発報時の問題点を追及していたところ、負荷短絡による「ゲート用制御電源異常」の警報が設計上想定されていたにも係らず、警報をリセットするための対応手順書が用意されていなかったため、事象発生時の判断・対応が迅速に行えなかったことが判明した。

そのため、是正対策として、警報をリセットするための対応手順書を用意することとしていたが、UPS 装置の取扱い等に関するメーカーへの確認および対応手順

の社内検討に時間を要し手順書が用意できていなかったため、今回の事象が発生した時点（6月27日）では、運転員の初動対応において、迅速な判断・対応が行うことができなかった。

（3）今後の対応

①設備故障の判断遅れに係る対応

対応手順書に基づいた運転員の初動対応により、異常警報を復旧できない場合、統括当直長は速やかに「動作不能」の判断を行う。

②「ゲート用制御電源異常」警報のリセット操作に係る対応手順書の改訂遅れに係る対応

対応手順書の改訂が必要となった場合、調査・復旧計画に含めて進捗管理することで、速やかな対応を行うこととする。

以 上