

平成15年度安全協定に基づく軽微な異常事象報告

大飯発電所1, 2号機

A廃液蒸発装置の廃液濃縮液ポンプ入口配管からの漏えいについて
(原因と対策)

- ・発生日時：平成16年3月24日
- ・終結日時：(配管復旧等の対策実施後の試運転完了時点)
- ・放射能による周辺環境への影響：なし
- ・国の取扱い：報告対象外
- ・安全協定上の取扱い：
 - 異常事象(第6条第3号「放射性物質が漏えいしたとき」)
- ・事象概要：

平成16年3月24日、大飯1、2号機共用設備であるA廃液蒸発装置^{*1}の「A濃縮液ポンプシール水流量低」の警報が発信した。同装置は循環運転中であり、直ちに発電室員がA廃液蒸発装置室内を点検したところ、室内の床に水が溜まっていることを確認したため、18時30分にA廃液蒸発装置の循環運転を停止するとともに、19時47分にA廃液濃縮液ポンプを隔離し、漏えいの停止を確認した。

漏えいした水は、A廃液蒸発装置室堰内に収まっており、室内の目皿を通じてフロアドレンタンクに回収されている。漏えいした水の量は約 0.7m^3 と推定され、放射能濃度は約 $4.0 \times 10^2 \text{Bq/cm}^3$ 、漏えい・回収した放射エネルギーは約 $2.8 \times 10^8 \text{Bq}$ と評価された。

漏えい箇所を調査するため、廃液濃縮液ポンプ入口ラインの配管の保温材を取り外したところ、ポンプ入口配管外面に長さ約90mmと約15mmの2本の割れを(目視により)確認した。

この事象による環境への放射能の影響はない。

*1)放射性廃棄物を減容処理するため、蒸気の熱により廃液を沸騰させ、蒸発せずに残った濃縮廃液をアスファルト固化装置へ送る装置。

【福井県原子力環境安全管理協議会で発表済(H16.3.30)。月例報告に資料添付(H16.4.7)】

1. 調査結果

割れが認められた配管については、切り出した後、分析施設にて破面観察など詳細な調査を行った。調査の結果は以下の通り。

< 配管表面調査 >

- ・配管外面の浸透探傷検査を実施した結果、当初2箇所としていた割れは1箇所(約90mm)のみであることが判明した。
- ・配管表面の詳細観察の結果、漏えい箇所付近の配管表面は変色(こげ茶色)していた。さらに、配管表面の組織調査等を実施した結果、配管自体が鋭敏化^{*2}していた。これらの状況等から、当該配管が過去に高温(約500℃以上)になったことがあるものと推定された。
- ・配管材料の成分分析の結果、問題のないことを確認するとともに、同一の製作配管に変色等の異常が認められていないことから、配管据付時に変色等の異常はなかったものと考えられる。

*2)ステンレス鋼等が高温になると金属粒界に炭化物が析出し耐食性を低下させる(腐食しやすい状態になる)現象。

< 破面観察 >

- ・配管の破面観察の結果、配管内面に長さ約100mm、外面に長さ約90mmの割れが確認され、配管内面から外面へ材質の結晶粒界に沿って進展する粒界腐食割れの痕跡が確認された。

< 運転履歴調査 >

- ・ 廃液蒸発装置の運転履歴を調査した結果、廃液蒸発装置の排気ラインは、常時開放されており、装置の停止時は装置内の濃縮廃液中の溶存酸素量が多い状況であった。また、その環境下で、配管内面にスラッジ（付着物）が存在する場合、配管内表面とスラッジの隙間に局所的な腐食環境が形成（すきま腐食^{*3}）されることが判明した。

* 3) 酸素が溶存する隙間内（配管表面とスラッジ間）に塩素イオン(Cl^-)、硫酸イオン(SO_4^{2-})が濃縮して低pH環境（酸性）となり、腐食が進行する現象。

さらに、配管が鋭敏化した原因を調査した結果、以下のことが判明した。

- ・ 当該系統には、配管内の濃縮廃液が固化するのを防ぐため、配管外面にはヒータ（電熱線）が巻かれている。漏えい部付近には配管サポートがあり、熱が逃げやすいため、他の部位（4本）より多くの電熱線（8本）が敷設されている。
- ・ 配管内に濃縮廃液が入っていない状態で、配管ヒータ温度調節装置に不具合が発生し、ヒータ入熱が継続した場合、当該部は高温状態になることが判明した。

なお、「A濃縮液ポンプシール水流量低」警報発信については、ポンプに異常が認められないことから、ポンプ入口配管からの漏えいにより、ポンプ入口側圧力が低下し、配管内に気泡が発生したため、ポンプ内部圧力の変化等を引き起こし、シール水が流れにくくなり警報が発信したものと推定された。

2．原因と対策

< 原因 >

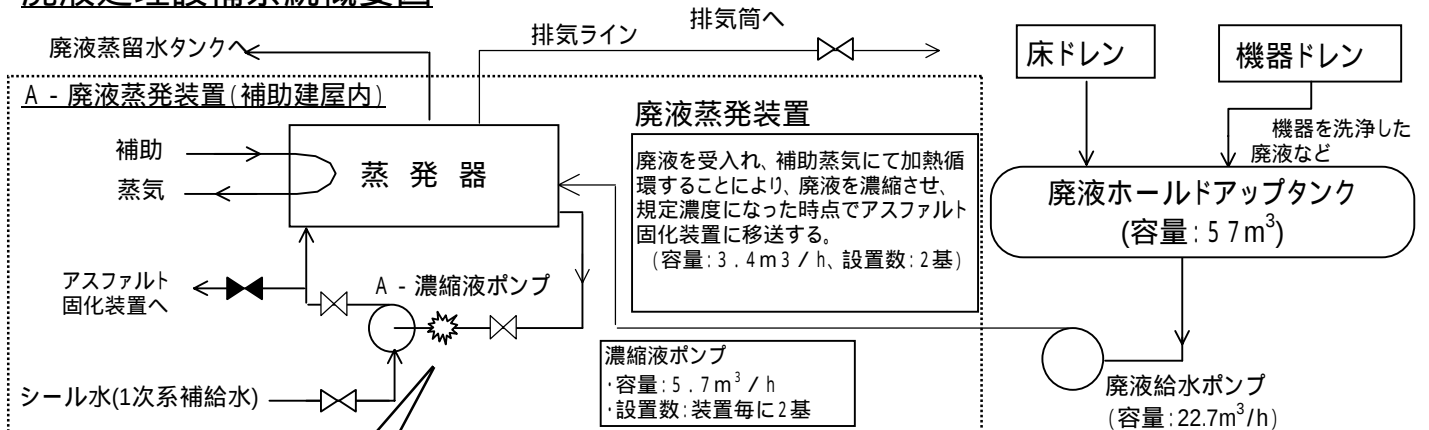
- ・ 漏えいが発生した原因としては、配管内の濃縮廃液中に酸素が溶存していたことから、配管内面とスラッジの隙間に局所的な腐食環境が形成されたことに加え、配管材料が鋭敏化し耐食性が低下したことから、粒界腐食が進行し、貫通に至ったものと推定された。
- ・ 配管材料が鋭敏化した原因としては、配管内の濃縮廃液を抜き取った後に、配管ヒータ温度調節装置に不具合が発生し、ヒータ入熱を継続していた可能性を否定できず、当該配管が異常加熱されたものと推定された。

< 対策 >

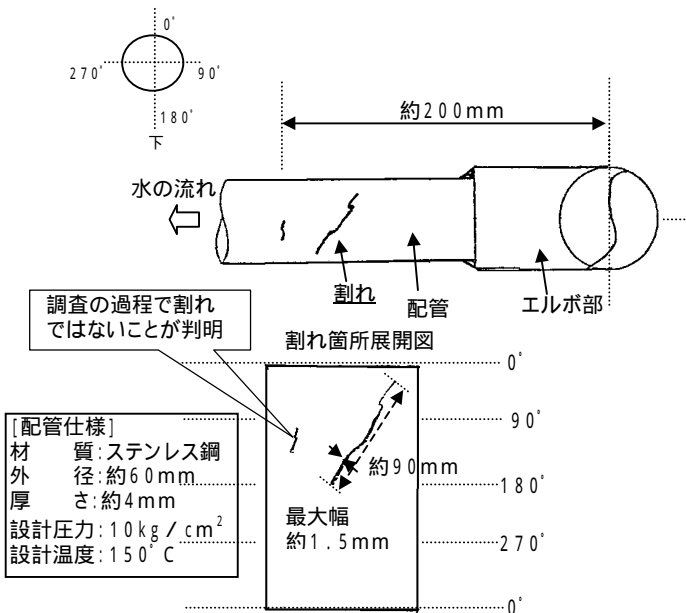
- ・ 漏えいした配管を同寸法・同材料の配管に取り替えることとした。
- ・ 廃液蒸発装置停止時には、同装置から排気ラインに至る弁を「閉」運用として酸素の持ち込みを防止することとした。
- ・ 廃液蒸発装置点検時の操作順序について、配管内の濃縮廃液を抜き取る前にヒータ電源を切るよう操作手順書に明記した。

大飯発電所1、2号機 A - 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口配管からの漏えい概要図

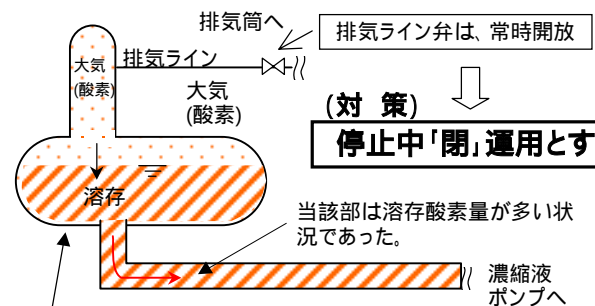
廃液処理設備系統概要図



漏えい配管の調査結果



配管内に酸素が混入した原因

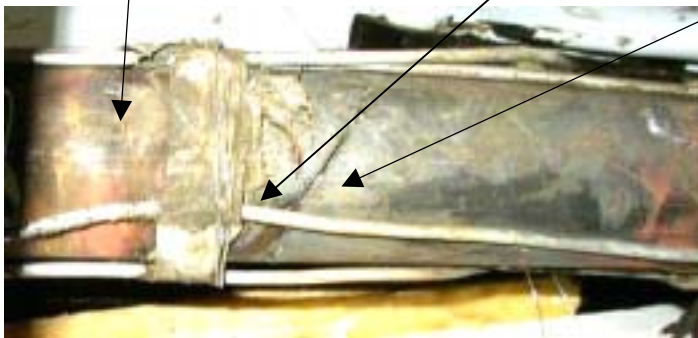


(対策)
停止中「閉」運用とする

排気ラインが常時「開」となっていることにより、廃液蒸発装置停止中、大気(酸素)を取り込み、水中に溶存酸素が存在することになる。

濃縮液ポンプ入口配管外観状況(写真)

漏えい配管



ヒータ(電熱線)

漏えい付近には、他の部位より4本多い8本取り付けられていた。温度調整装置不良の場合は、当該部位が約500～600℃以上になる可能性がある。
(写真では片側4本のみ)

漏えい部

漏えい部周辺の配管表面は、他の部位よりもこげ茶色に変色していた。配管の温度上昇により、配管材料が鋭敏化(腐食しやすい状態)していた。

< 割れの原因 >

酸素の存在とスラッジ(付着物)の堆積

局所的な腐食環境の形成(すきま腐食)

配管の内面から外面へ、材質の結晶粒界に沿って進展する粒界腐食割れが発生

すきま腐食の発生メカニズム(推定)

(A) 水質：溶存酸素の存在

廃液蒸発装置停止中、大気(酸素)を取り込み、水中に溶存酸素が存在。

(B) 水質：低pH化(酸性化)させる陰イオン(Cl^- , SO_4^{2-})の存在

濃縮廃液中に含まれる成分は、ナトリウム(Na)、ほう素(B)が主体。

また、通常範囲内ではあるが、腐食に関与する塩素イオン(Cl^-)や、硫酸イオン(SO_4^{2-})が存在。

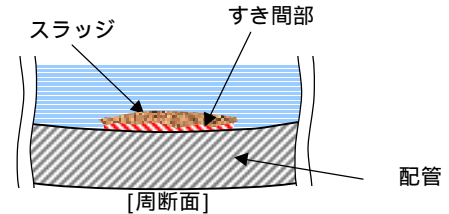
(漏えい水分析結果)

Cl^- : 30ppm (管理基準値は100ppm以下)

SO_4^{2-} : 3,730ppm

(C) 配管内面：配管とスラッジとのすき間に腐食環境の存在

廃液蒸発装置長時間待機状態により、配管内にスラッジが堆積。配管内の濃縮廃液に酸素が溶存し、配管とスラッジとのすき間部が存在すると腐食環境を形成。

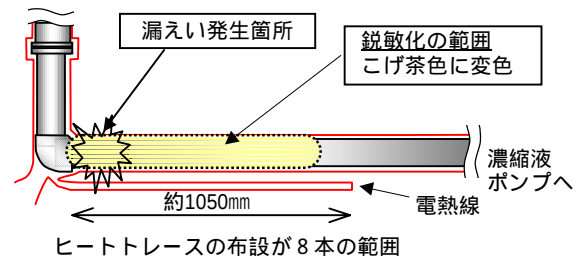


(D) 配管外表面：材料の鋭敏化(腐食しやすい状態)

漏えい発生箇所附近の配管外表面が、変色(こげ茶色)。

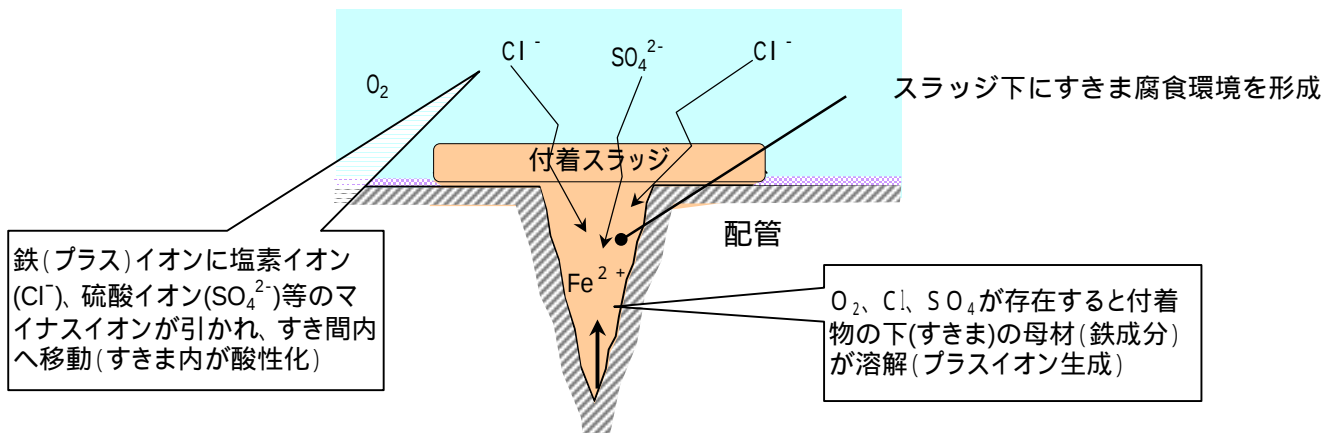
配管外表面に電熱線を巻き加熱(ヒートトレース)しているが、漏えい発生箇所附近では、8本(通常4本)の電熱線を布設しており、他部よりも高温となり易い状態である。

また、温度調整装置等の不具合によっては、加熱により、配管が鋭敏化(腐食しやすい状態)する温度まで上昇する可能性がある。



割れを促進

[すきま内低pH化(酸性化)と腐食の進行メカニズム]



酸素が溶存する水中では、すき間内に Cl^- 、 SO_4^{2-} が濃縮して低pH(酸性)環境となり、すきま腐食が発生する。材料の鋭敏化と重畳し、粒界腐食が進行、貫通に至ったものと推定される。