

伊方発電所第 2 号機
アスファルト固化装置廃液供給タンクへの
配管からの析出について

平成 2 7 年 6 月
四国電力株式会社

1. 件 名

伊方発電所第2号機

アスファルト固化装置廃液供給タンクへの配管からの析出について

2. 事象発生の日時

平成26年11月18日 12時40分（確認）

3. 事象発生の設備

アスファルト固化装置 廃液供給配管

4. 事象発生時の運転状況

2号機 第23回定期検査中

5. 事象の概要

定期検査中の伊方発電所第2号機原子炉補助建家（管理区域）において、アスファルト固化装置への廃液供給配管の保温材に、析出物があつたため、保温材を取り外し、配管の状況を確認したところ、平成26年11月18日12時40分頃に、配管外表面に漏えい跡と思われる析出物があることを保修員が確認した。なお、漏えい跡は乾燥した状態であり、継続した漏えいはなかった。

その後、当該配管を切り出し調査した結果、配管外表面の周方向に約75mmの割れを確認した。

また、当該箇所の配管取替が完了したことから、11月27日10時05分、通水確認を実施し、漏えいのないことを確認後、通常状態に復旧した。

なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－1）

6. 事象の時系列

平成26年11月17日

10時45分

パトロール員がアスファルト固化装置廃液供給配管の保温材に析出物があることを確認

11月18日

12時40分

保修員が配管外表面に漏えい跡と思われる析出物を確認

11月19日～25日

当該箇所の切り出し、配管内外面の調査実施

11月25日～26日

当該配管の取替実施

11月27日

10時05分

通水確認等を実施し、漏えいのないことを確認し、通常状態に復旧

11月28日～12月1日

切り出した配管について調査した結果、配管内表面に割れを3箇所確認

～平成27年1月23日

アスファルト固化装置廃液供給配管調査（当該箇所以外）

～平成27年2月16日 配管調査箇所の配管復旧
4月7日～4月28日 類似箇所（セメント固化装置）配管調査・復旧

7. 調査結果

当該配管について以下の調査を実施した。

（1）当該漏えい跡部の詳細調査

a. 外表面目視観察

外表面目視点検を実施した結果、割れは配管地側から右側および左側（周方向に約75mm）に確認され、割れの周辺には付着物が認められた。

（添付資料－2）

b. 内表面目視観察

配管を長手方向に切断し、内表面目視点検を実施した結果、内表面には茶色の付着物が全体に付着していた状態であった。付着物を除去したところ、地側に直径約3mmの孔食^{*1}によるへこみが2個認められ、孔食部と割れは連結していた。

（添付資料－3）

*1 孔食

金属材料の表面に生じる局所的な腐食

c. 金属調査

- ・断面ミクロ観察の結果、地側の内表面には孔食によるへこみが生じており、割れは内表面から外表面に向かって枝分かれしていたことから、割れの進展は内表面から外表面へ進展したものと推定される。

（添付資料－4）

- ・走査型電子顕微鏡（SEM）による割れ部の破面観察を実施した結果、塩化物応力腐食割れ^{*2}破面に特有の羽毛状破面^{*3}が認められた。

（添付資料－5）

*2 塩化物応力腐食割れ

塩化物イオン、水分および酸素の存在下で応力が作用するステンレス鋼に割れが発生・進行する現象

*3 羽毛状破面

塩化物応力腐食割れ破面に特有な羽毛状形態で、き裂進展方向に放射状に広がった金属組織破面

- ・電子線マイクロアナライザ（EPMA）^{*4}による割れ部破面の成分分析を実施した結果、割れ内面に塩素が認められた。

＊４ 電子線マイクロアナライザ（E PMA）

非常に細かく絞った電子線を試料に照射し、分析エリアから発生する各元素に特有なX線（特性X線）を検出することで、試料の微量分析（元素同定、定量分析および化合物特定等）を行う装置

d. 付着物調査

- ・配管外表面に析出していた付着物について、電子線マイクロアナライザ（E PMA）による成分分析を実施した結果、主にほう素（B）、酸素（O）、ナトリウム（N a）の元素が検出されたことから、析出していた付着物は濃縮廃液と推定された。
- ・配管内表面に付着していた付着物の成分を電子線マイクロアナライザ（E PMA）にて分析した結果、主に、酸素（O）、カルシウム（C a）、鉄（F e）、亜鉛（Z n）の元素が検出されたことから、付着物の主成分は廃液に含まれる、金属酸化物、保温材、塗料と推定される。

e. 配管素材の健全性確認

- ・硬さ測定「ビッカース硬さ（H v）測定」＊⁵の結果、約170であり、S U S 3 0 4材の標準的な値（200以下）であり問題なかった。
- ・母材の金属成分分析を実施した結果、当該材料はJ I S規格のS U S 3 0 4の化学成分を満足しており問題なかった。

＊５ 硬さ測定（ビッカース硬さ測定）

正四角錐ダイヤモンド圧子を用い、試験片の表面にくぼみをつけたとき、くぼみの対角線の長さを図り表面積を求め、荷重をこの表面積で割った単位面積当たりの荷重をもって硬さとする試験

f. 保守履歴の調査

当該配管については、アスファルト固化装置設置以降（昭和57年）より取替実績は無かった。なお、配管の点検については、日常巡視点検において漏えいのないことにより確認している。

（２）その他アスファルト固化装置廃液供給配管の調査

a. 当該漏えい跡部の水平配管（約1 m）

- ・外表面の外観目視点検および浸透探傷検査を実施した結果、当該漏えい跡部（割れ箇所）を除いて異常は認められなかった。
- ・内表面観察のため配管を切り出して長手方向に切断し、内表面の外観目視点検を実施した結果、当該部同様な付着物が認められた。また浸透探傷検査を実施した結果、水平配管部の内表面に3箇所の割れが確認された。割れは当該部同様に孔食が認められ、孔食部と割れは連結していた。

ただし、割れは外表面には至っていない状態であった。

- ・金属調査を実施した結果、当該漏えい跡部と同様に割れは内表面から外表面へ向かって進展したものと推定され、また塩化物応力腐食割れ破面に特有の羽毛状破面が認められた。

- ・水平配管は、濃縮廃液が廃液供給タンクに抜け落ちる構造であり、通水停止後に濃縮廃液が蒸発する環境であった。

(添付資料－ 6)

b. 当該箇所以外の配管調査

- ・当該漏えい跡部で認められた配管内面の付着物の有無を確認するために、当該配管上流側の廃液供給タンク入口配管のうち取替実績がない配管および取替実績がある配管^{*6}の一部について、配管を切り出して長手方向に切断し、調査を行った。
- ・配管内面はウェットの状態であり、配管内表面目視点検の結果、内表面に付着物はなく孔食も認められなかった。また、配管内面の浸透探傷検査を実施した結果、異常は認められなかった。以上のことから濃縮廃液が充水している箇所では塩化物応力腐食割れが発生していないことが確認された。
- ・更に、廃液供給タンク入口配管に異常が認められなかったが念のため、濃縮廃液が常に充水している配管である当該配管下流側の廃液供給タンク出口配管およびアスファルト固化装置混和機入口配管について同様に調査を行った結果、異常は認められなかった。

(添付資料－ 7)

* 6 取替実績がある配管

放射性廃棄物処理設備の運用性向上を目的として、2号機のドラミングバッチタンク^{*7}を1, 2号機で共用する運用としたため、2号機のドラミングバッチタンクの長期運用に万全を期す観点から、平成19年にドラミングバッチタンク2A, 2B廻りの廃液供給配管の取替を実施した。ドラミングバッチタンクの長期運用が目的であったことから、アスファルト固化装置側との設備取合い部までを配管の取替範囲とした。

* 7 ドラミングバッチタンク

液体廃棄物処理設備から発生する濃縮廃液を貯留するタンク

(3) アスファルト固化装置廃液供給配管の運転状況調査

- ・当該配管は、ドラミングバッチタンクから廃液供給タンクへ濃縮廃液を移送する目的で設置されている。濃縮廃液は液体廃棄物処理設備により系統廃液を濃縮した廃液または洗浄排水処理設備により洗濯排水を濃縮した廃液（塩素濃度限度350ppm）が移送される。
- ・洗浄排水処理設備は、管理区域内で使用した作業服を洗濯した水を蒸発処理することから、濃縮液中には保温材の粉や汚れ、汗の主成分である塩分などの不純物が含まれている。
- ・濃縮廃液は約80℃の温度を保った状態で移送されていた。
- ・廃液供給タンクは、大気開放の環境であった。
- ・廃液の移送実績を調査したところ、1, 2号機が長期停止前となる平成18年度～平成23年度は、約120回／年（移送時間は約14時間30分／年）であり、1, 2号機が長期停止となった平成24年度～26年度は、約50

回／年（移送時間は約 5 時間 4 0 分／年）であり、1，2 号機の運転状態にかかわらず廃液の年間移送時間としては多くはなく、移送の頻度は、廃液の発生量によるものであり、いずれも間欠通水であった。なお、廃液移送後の配管洗浄操作を実施する手順は無かった。

8. 推定原因

当該配管は、アスファルト固化装置設置以降、不純物を含む濃縮廃液が間欠通水されており、通水停止時は、水平配管内の残留水が大気開放されている廃液供給タンクに抜け落ちることから、配管内に残留した廃液が蒸発するとともに配管内面に不純物が固着したと推測される。

また、濃縮廃液は高濃度の塩素を含有しており、溶存酸素、塩化物イオン、不純物が存在する環境にあることから、配管内面と不純物の隙間で隙間腐食^{*8}が発生し、隙間腐食を起点として濃縮廃液の通水・停止の繰り返しにより塩化物応力腐食割れが進展し、貫通に至ったものと推測される。

（添付資料－8）

* 8 隙間腐食

金属間又は金属と他の材料との間に隙間が存在する場合、隙間の内外において電気化学的な腐食が生じる現象

9. 類似箇所の調査

推定原因より、当該配管同様に酸素、塩素、不純物を内包し、配管内部に残留する廃液が乾燥を繰り返す配管について調査した結果、3 号機セメント固化装置内の濃縮廃液受入タンク入口配管等の 6 箇所が抽出された。

（添付資料－9）

- ・セメント固化装置 6 箇所の配管を切り出して、長手方向に切断し調査を行った。
- ・外観目視点検の結果、配管内表面に不純物の固着はなく孔食も認められなかった。また、配管内面の浸透探傷検査を実施した結果、異常は認められなかった。

10. 対策

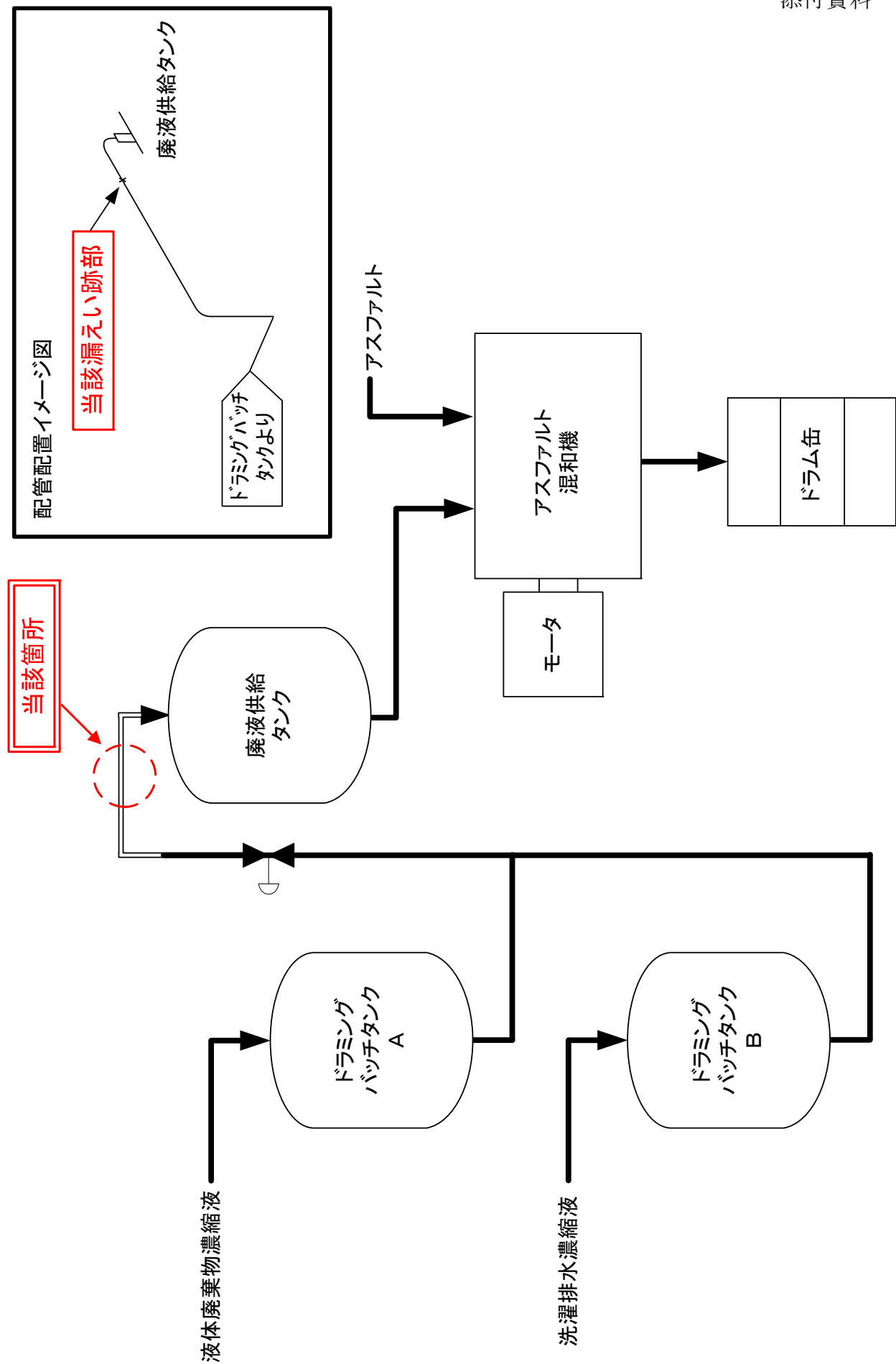
- （1）当該漏えい跡部および調査で割れが確認された配管について、配管の取替を実施した。また、配管調査を行ったアスファルト固化装置廃液供給配管の取替を実施した。
- （2）当該箇所については、今後、今回と同様な事象が発生しないように、不純物の固着や塩化物応力腐食割れを防ぐ観点から、廃液の移送操作を実施した後、脱塩水により配管内に残る濃縮廃液を洗い流す洗浄操作を新たに追加し、操作手順書に反映した。
- （3）3 号機セメント固化装置の類似箇所について、念のため配管内に残る濃縮廃液を洗い流す洗浄操作を新たに追加し、操作手順書に反映する。

以 上

添 付 資 料

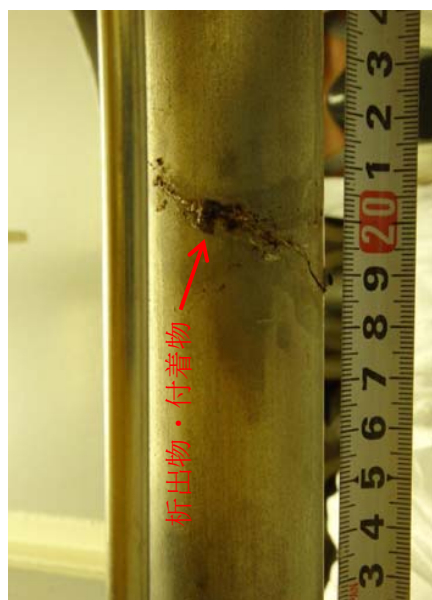
- 添付資料－ 1 伊方発電所第 2 号機 アスファルト固化装置系統概略図
- 添付資料－ 2 当該漏えい跡部外表面目視観察結果
- 添付資料－ 3 当該漏えい跡部内表面目視観察結果
- 添付資料－ 4 断面ミクロ観察結果
- 添付資料－ 5 走査型電子顕微鏡（S E M）観察結果
- 添付資料－ 6 当該漏えい跡部以外（3 箇所）浸透探傷検査結果
- 添付資料－ 7 伊方発電所第 2 号機 アスファルト固化装置の配管調査範囲図
- 添付資料－ 8 漏えいまでのメカニズム
- 添付資料－ 9 類似箇所系統図【3 号機セメント固化装置】

伊方発電所第2号機 アスファルト固化装置系統概略図

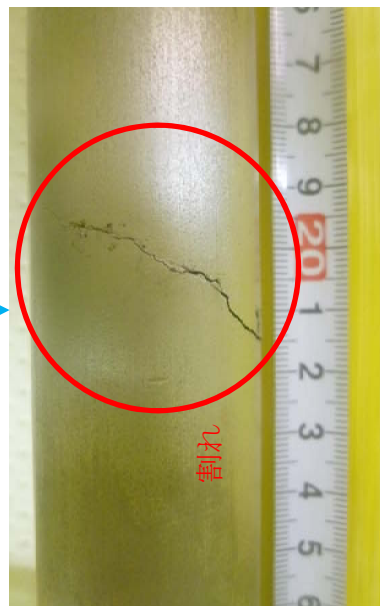


当該漏えい跡部外表面目視観察結果

【左側（手入れ前状況）】



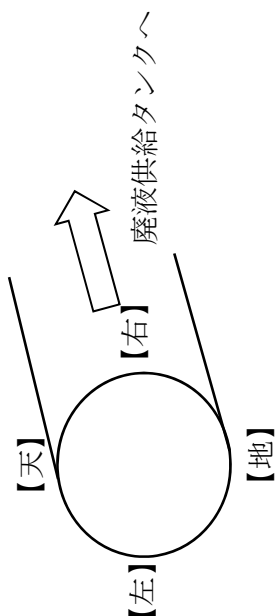
手入れ



【左側（手入れ後状況）】



【天側（手入れ後状況）】



【地側（手入れ後状況）】

【右側（手入れ前状況）】

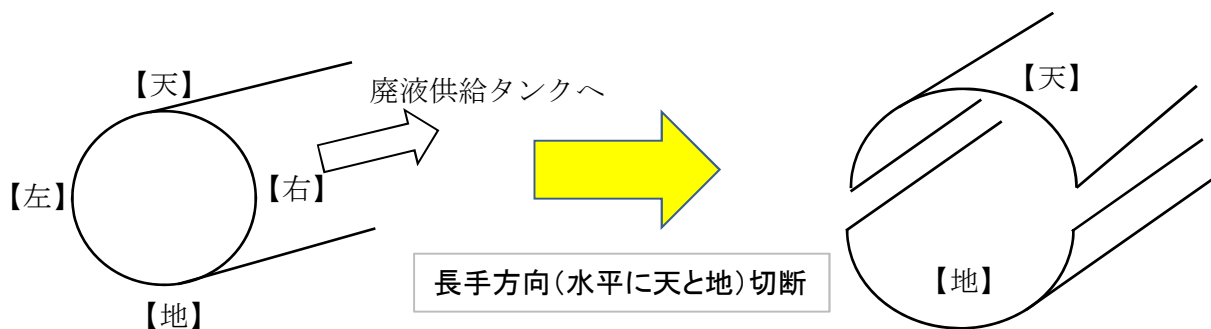


手入れ



【右側（手入れ後状況）】

当該漏えい跡部内表面目視観察結果



【地側】

【天側】



【手入れ前状況】

・茶色の付着物が全体に付着していた。

【地側】

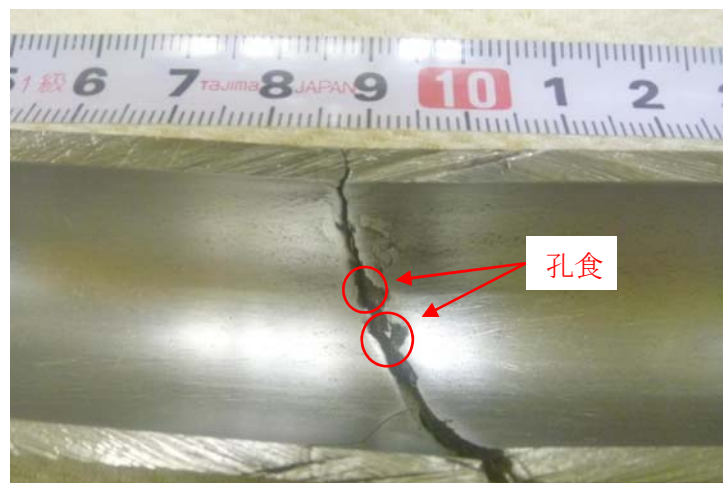
【天側】



【手入れ後状況】

・孔食(へこみ)が確認された。

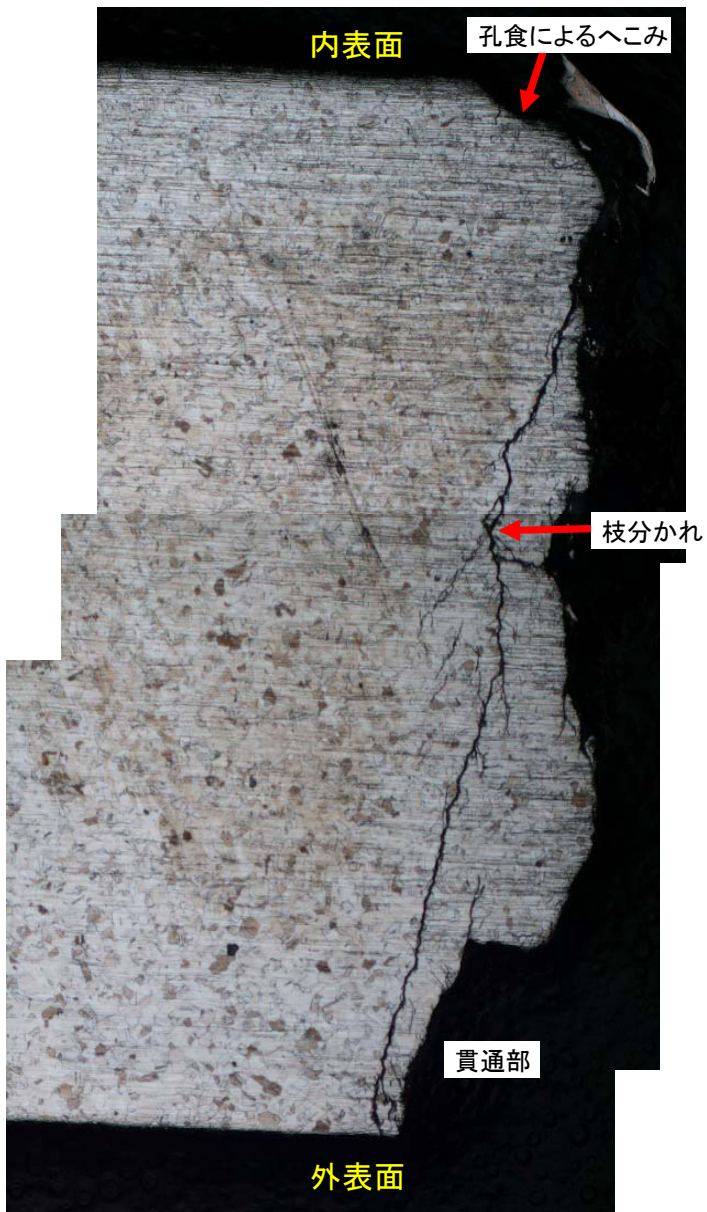
【地側】



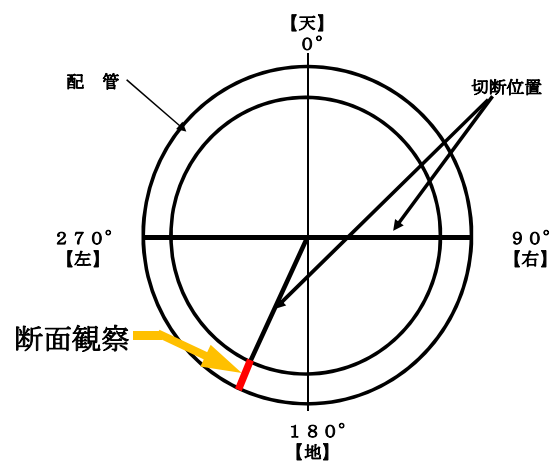
【地側拡大】

・直径約3mmの孔食が2個あり、孔食部と割れは連結していた。

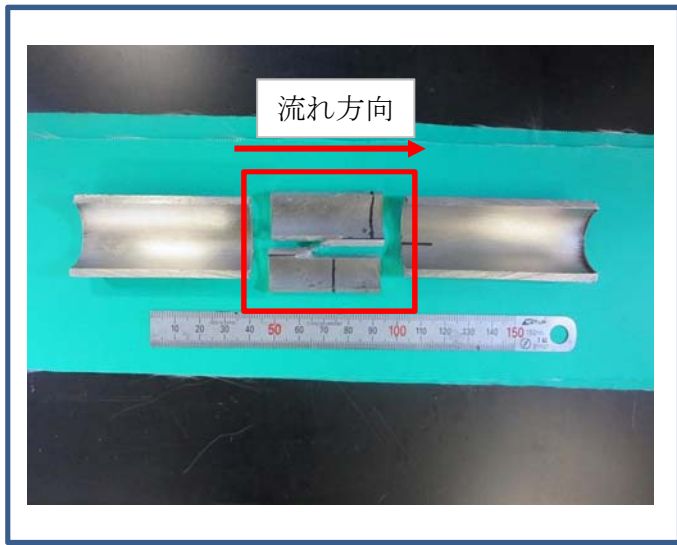
断面ミクロ観察結果



拡大

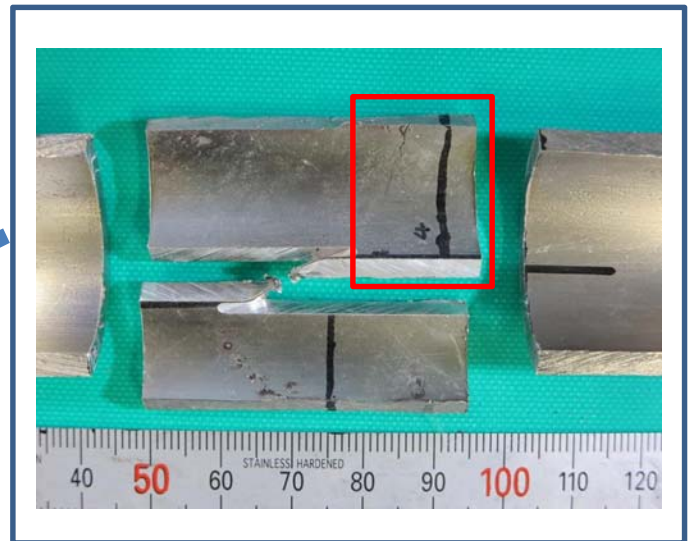


走査型電子顕微鏡（SEM）観察結果



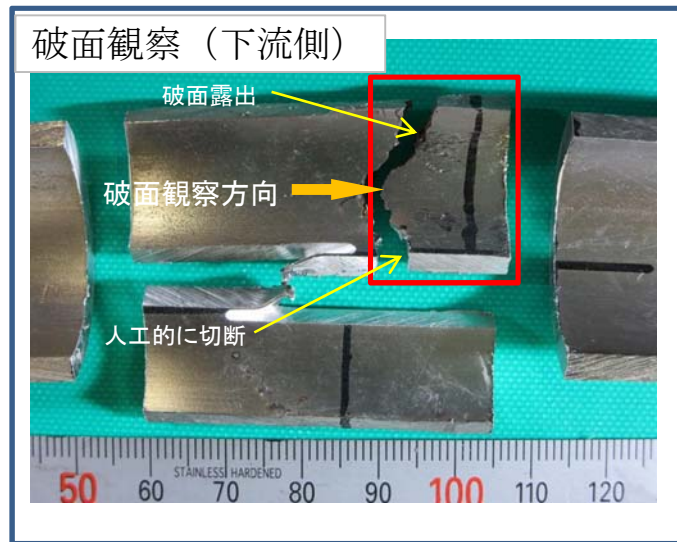
天側（細断 1）

拡大



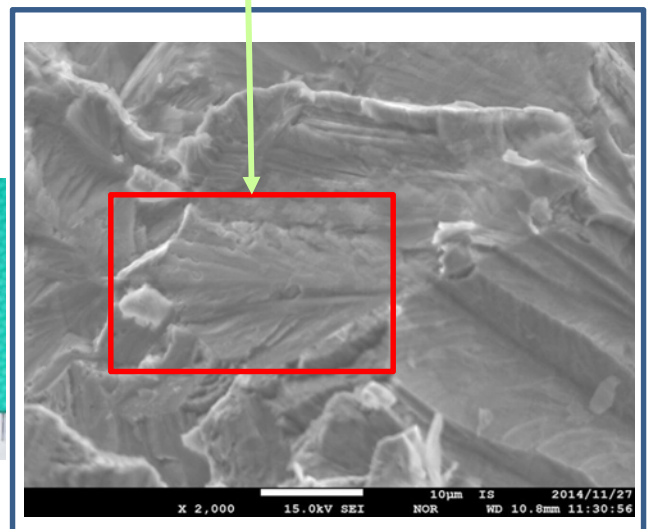
天側拡大

破面露出



天側（細断 2）

羽毛状破面

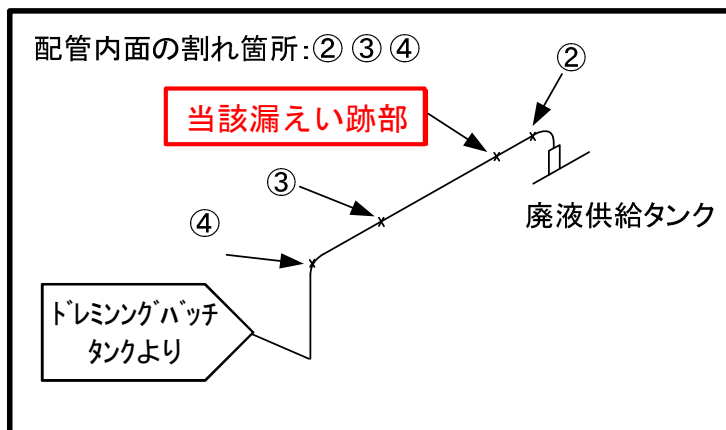
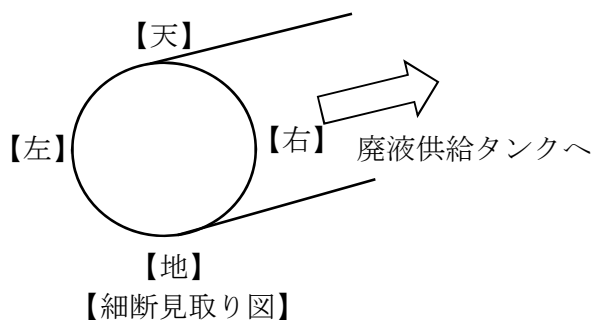


破面拡大画像



下流側断面

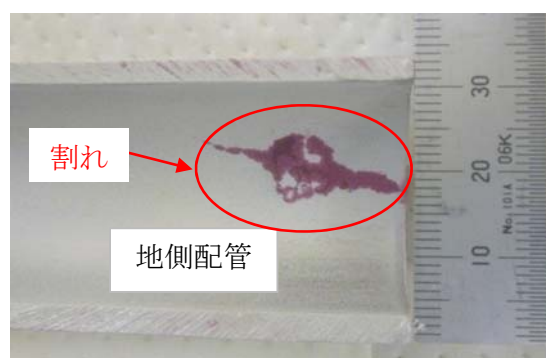
当該漏えい跡部以外（3箇所）浸透探傷検査結果



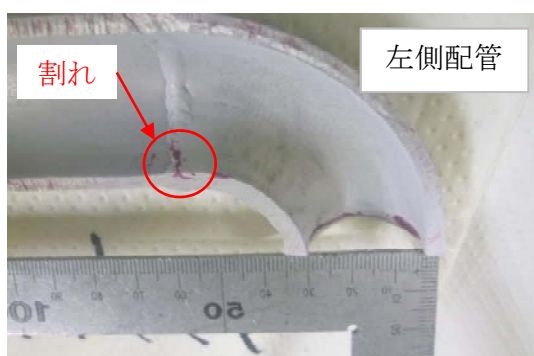
【現地写真】



【割れ箇所④】

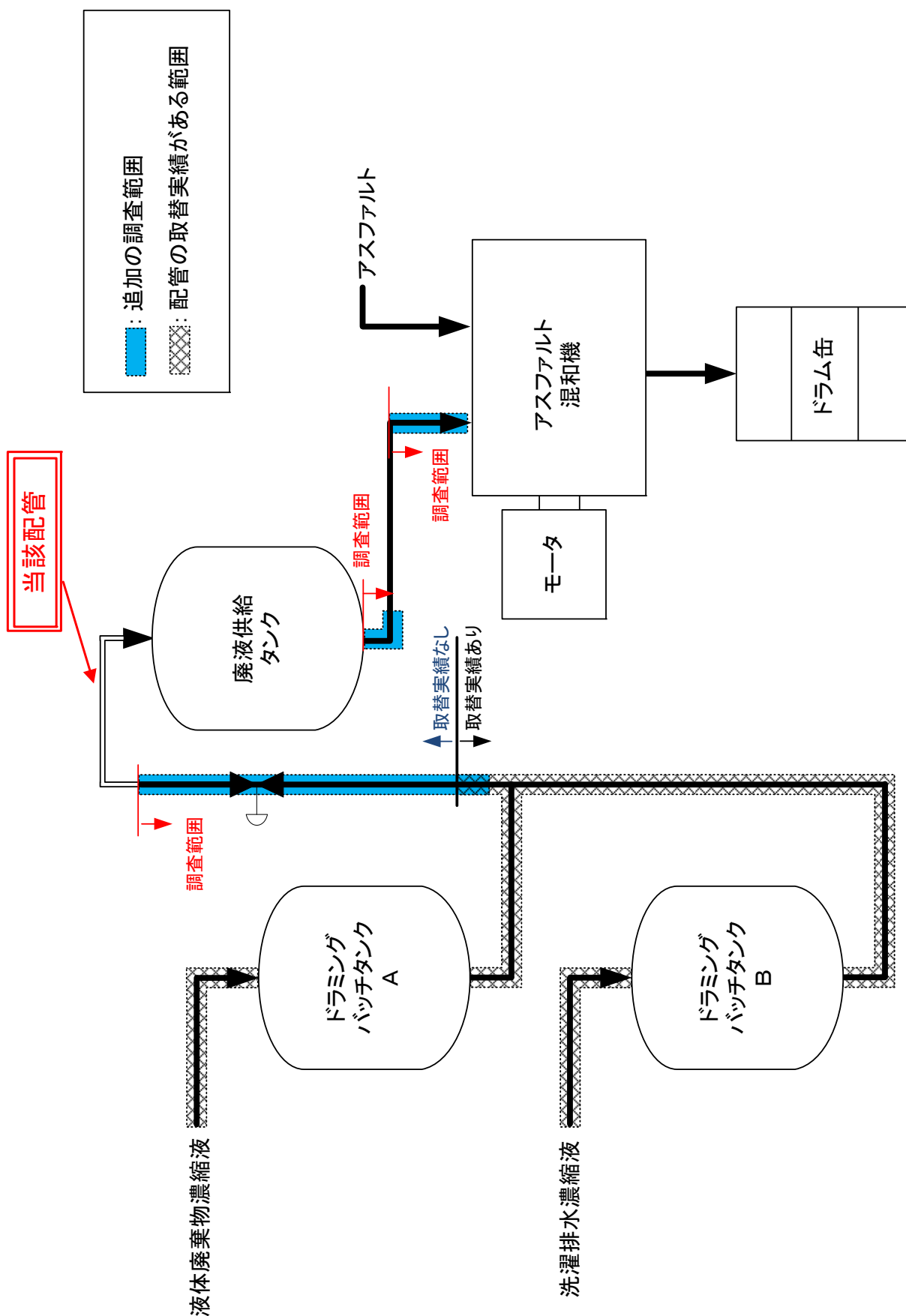


【割れ箇所③】



【割れ箇所②】

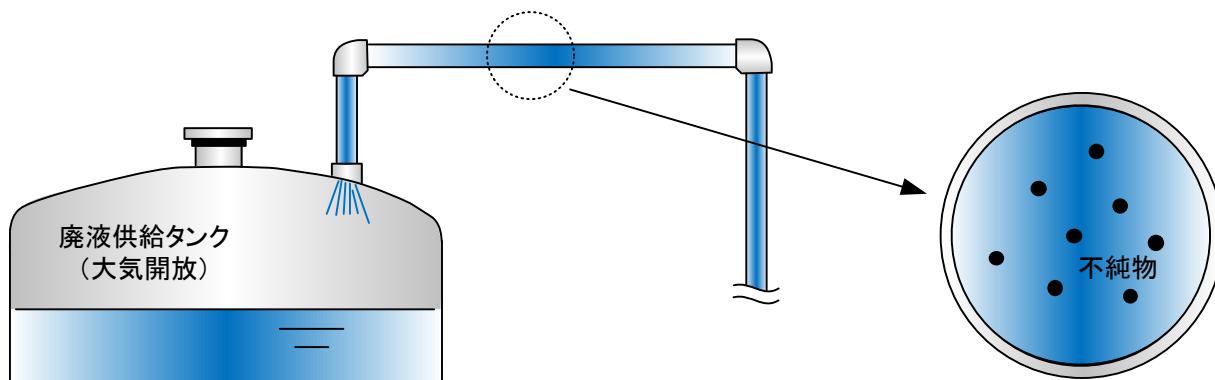
伊方発電所第2号機 アスファルト固化装置の配管調査範囲図



漏えいまでのメカニズム

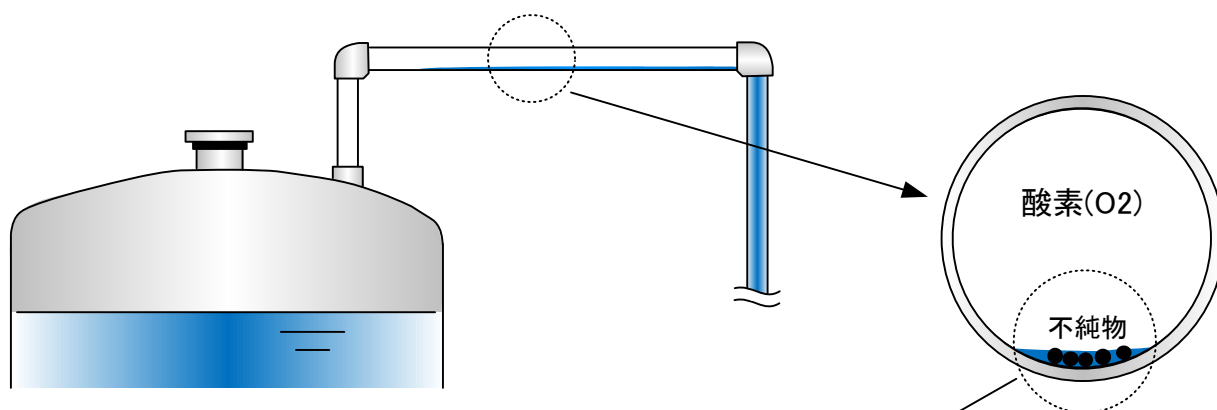
(1) 濃縮廃液通水

濃縮廃液中には、塩化物イオン、不純物が含まれる。



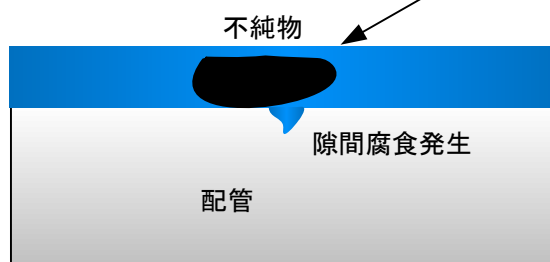
(2) 通水停止時

配管内の濃縮廃液が蒸発し、不純物が地側に固着。



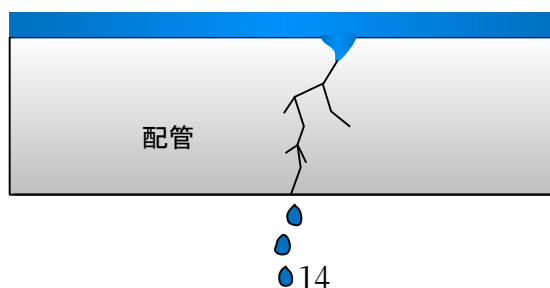
(3) 隙間腐食発生

固着した不純物の隙間で隙間腐食(孔食)が発生。

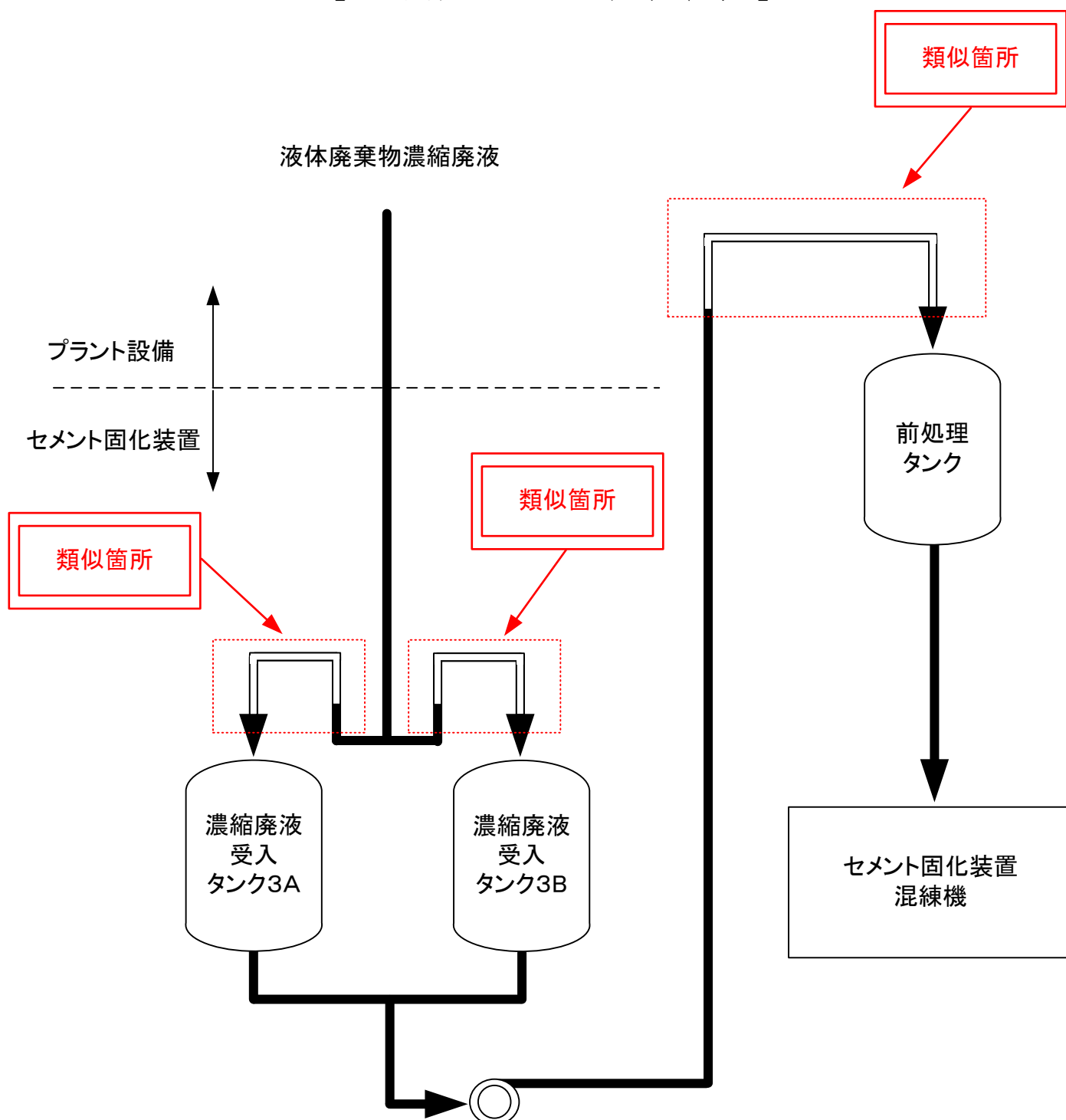


(4) 塩化物応力腐食割れき裂の進展

溶存酸素、塩化物イオンの存在により、孔食を起点として塩化物応力腐食割れにてき裂が進展。



類似箇所系統図 【 3 号機セメント固化装置】



※上記系統図は代表例を記す。

類似箇所(合計6箇所):他配管箇所は以下のタンクの入口配管
・予備濃縮液タンク・上澄水タンクA/B