

伊方発電所第 3 号機
洗濯設備内乾燥機の配管からの水漏れについて

令和元年 6 月

四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第3号機 洗濯設備内乾燥機の配管からの水漏れ

2. 事象発生の日時

平成31年2月4日 15時08分

3. 事象発生の設備

3号機 洗濯設備補助蒸気系統

4. 事象発生時の運転状況

3号機 通常運転中（電気出力918MW）

5. 事象発生の状況

伊方発電所3号機は通常運転中のところ、2月4日15時08分、洗濯設備のうち、乾燥機^{※1}に使用する補助蒸気^{※2}の復水が流れる配管の保温部より、水漏れがあることを運転員が確認した。（漏えい量は約4リットル）

このため、当該補助蒸気系統を隔離し、保温材を取り外して確認したところ、配管表面に微小な穴が開いており、そこから漏えいしていることを確認した。

その後の調査の結果、微小な穴が開いていた配管（以下、「当該配管」）の上流に設置している補助蒸気供給配管側のスチームトラップ^{※3}（以下、「当該スチームトラップ」）の弁体を支えている軸ピンが折損し、弁体が閉まらない状態となっていることを確認した。また、当該配管が減肉したことで貫通に至ったことを確認した。

その後、当該スチームトラップの部品交換および当該配管の取替えを実施し、補助蒸気を通気して漏えいのないことを確認し、4月5日9時55分に通常状態に復旧した。

なお、本事象によるプラントへの影響および周辺環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－1）

※1 乾燥機

管理区域内で使用した衣類を水洗いした後に乾燥させる装置。

※2 補助蒸気

発電所の付属設備（洗濯設備、空調設備など）に供給するために、主蒸気の熱を利用して発生させた放射能を含まない蒸気。

※3 スチームトラップ

蒸気配管内の復水を排出し、蒸気を止める機能を持つ自動弁。

6. 事象の時系列

2月 4日

14時55分 協力会社作業員が水溜りを発見

15時08分 伊方発電所3号機の洗濯設備の乾燥機に使用する補助蒸気復水配管の保温部からの水漏れを運転員が確認

15時45分 洗濯設備補助蒸気系統を隔離

16時01分 保修員が水漏れ箇所（貫通穴1箇所）を確認

16時10分 保修員が水漏れ停止を確認

2月 5日 原因調査開始

2月18日 当該スチームトラップの弁体を支えている軸ピンの折損を確認

3月11日 当該配管の取替開始

3月20日 当該スチームトラップの部品交換開始

3月22日 当該スチームトラップの部品交換終了

3月27日 当該配管の取替終了

4月 3日 洗濯設備補助蒸気系統の隔離復旧（補助蒸気通気開始）

4月 5日

9時55分 当該配管からの水漏れがないことを確認し、通常状態に復旧

7. 調査結果

当該配管から水が漏えいした原因について、以下の調査を行い、要因の検討を実施した。

(1) 当該配管の詳細調査

a. 材質の調査

当該配管は、炭素鋼（圧力配管用炭素鋼鋼管（STPG38-E））であることを確認した。

b. 外表面目視調査

補助蒸気復水配管と洗濯設備乾燥機復水配管の合流部から下流側約315mmの位置に直径約0.4mmの貫通穴を確認した。

(添付資料-2)

c. 内表面目視調査

当該配管を長手方向に切断し、内表面の目視確認を実施した結果、長手方向に約150mmにわたり滑らかな光沢を有している箇所（以下、「滑面箇所」）を確認した。また、滑面箇所では肉厚が薄くなっていることを確認した。

滑面箇所以外は酸化被膜^{※4}に覆われており、減肉はほとんど確認されなかった。

(添付資料-3)

※4 酸化被膜

金属が酸素と化合することにより、金属表面に生成される電位的に安定な保護被膜。

(2) 使用状況調査

当該配管は、乾燥機で生じる復水と補助蒸気供給配管の復水とが、それぞれスチームトラップを経由して合流する位置の下流側に設置されている。

乾燥機は、補助蒸気の熱を利用して乾燥しているため、熱が奪われた補助蒸気は復水となり、乾燥機側のスチームトラップおよび当該配管を経由して排水される。

乾燥機への補助蒸気の供給は、乾燥機運転時のみであることから、復水の発生は、乾燥機の運転時のみである。

なお、乾燥機の運転頻度は、プラント運転中は2回/週程度、定期検査期間中はほぼ毎日運転している。

補助蒸気供給配管は、常に補助蒸気が通気されているが、室温により熱が奪われて復水となり、当該スチームトラップおよび当該配管を経由して排水される。

(添付資料-4)

(3) スチームトラップの調査

スチームトラップが正常に動作していない場合は、高温の蒸気が当該スチームトラップの下流に流れ、当該配管が減肉する一因になることが考えられるため、当該配管上流に設置している2個のスチームトラップを分解点検した。

その結果、当該スチームトラップについて、弁体を支えている軸ピンが摩耗により折損し、弁体が閉まらなくなっていることを確認した。また、

他方（乾燥機 3 B 側）のスチームトラップでは弁体を支えている軸ピンの摩耗等の部品劣化は確認されなかった。

当該スチームトラップは、常に蒸気が通気されているため、発生した復水が排水される度にスチームトラップの弁体が動作しており、動作回数が多いと考えられることに対し、他方（乾燥機 3 B 側）のスチームトラップは、乾燥機停止中は乾燥機上流の弁を閉とし、蒸気の供給を停止していること、運転中は乾燥機内で生じた復水が継続して流れることから、スチームトラップの弁体の動作回数が少ないと考えられる。この動作回数の違いにより、弁体を支えている軸ピンの摩耗に違いが生じたものと推定される。
(添付資料－ 1、 5)

(4) 保守状況の調査

洗濯設備の定期点検は 3 号機原子炉施設の施設定期検査開始日から次回施設定期検査開始前日の 1 サイクルに 1 回の頻度で点検している。スチームトラップについては、洗濯設備の定期点検時にストレーナ^{※5}を取り外してそこに異物等が確認されれば、そのスチームトラップの分解点検を実施しており、当該スチームトラップは平成 20 年度に分解点検を実施していることを確認した。

なお、当該スチームトラップは、3 号機運開（平成 6 年 1 2 月）時に設置している。

※5 ストレーナ

スチームトラップの保護を目的として、スチームトラップ入口に設置された、異物の混入を防止するための網状のろ過装置。

(5) 類似箇所の調査

洗濯設備には同型のスチームトラップが当該配管上流部の 2 箇所以外に 4 箇所で使用されている。これらのスチームトラップについて分解点検を実施した。

点検の結果、補助蒸気供給配管の復水が流れる配管に設置されているスチームトラップ 2 箇所について、同様に弁体を支えている軸ピンが摩耗により折損していることを確認した。

弁体を支えている軸ピンが折損したスチームトラップ 2 箇所の下流側配管について肉厚測定を実施した結果、同様の減肉は確認されなかった。

なお、洗濯設備以外では、軸ピンのあるスチームトラップは使用されていないことを確認した。

(添付資料－ 1)

8. 推定原因

漏えいの原因は、動作回数の多い当該スチームトラップの弁体を支えてい

る軸ピンが、弁体の開閉に伴う摩耗により折損し弁体が閉まらなくなったことにより、本来復水が流れる配管に高温の蒸気が流れたため、合流後の下流側配管内において蒸気と乾燥機内で生じる復水が混合した状態となり、減肉しやすい環境が形成され、配管の貫通に至ったものと推定される。

スチームトラップが正常に動作している場合、減肉が確認された当該配管には比較的低温の復水が流れているが、当該スチームトラップの弁体を支えている軸ピンが折損し、弁体が閉まらなくなると、高温の蒸気が当該スチームトラップを通過して、乾燥機側の比較的低温の復水と鉛直配管部で合流し、混合されて下流に流れる。

合流直後は、蒸気と復水の熱交換が行われていないため、復水の温度は比較的低いですが、熱交換が進むにしたがって復水の温度は上昇し、減肉が確認された範囲では復水の蒸発が進み、配管内表面に高温の液膜が形成された状態となる。

この領域においては、蒸気による流れが生じているため配管内表面に生成した酸化被膜の溶解が促進されたこと、また高温水の環境下であったことから配管内表面の溶解が促進された結果、配管の減肉が進み、貫通に至ったと推定される。

なお、同様に弁体を支えている軸ピンが折損していた他の2箇所のスチームトラップの下流配管については、当該配管と配管構成や温度環境が異なることから、配管内の減肉が促進される環境は形成されなかったものと推定される。

(添付資料－6)

9. 対 策

- (1) 弁体を支えている軸ピンが折損していたスチームトラップ3箇所の内部部品すべての取替えおよび当該配管の取替えを実施した。
- (2) 次回点検時(令和2年6月実施予定)に、軸ピンのあるスチームトラップ6台の分解点検を行い、弁体を支えている軸ピンの摩耗状況を確認する。確認結果から分解点検する頻度を定めて点検計画に反映する。なお、点検計画に反映するまでの間は、乾燥機の使用前に復水配管の温度測定を実施し、復水配管に蒸気が流れていないことを確認する。

以 上

添 付 資 料

添付資料－ 1 伊方発電所 3 号機 洗濯設備まわり概略系統図

添付資料－ 2 配管の外表面目視結果

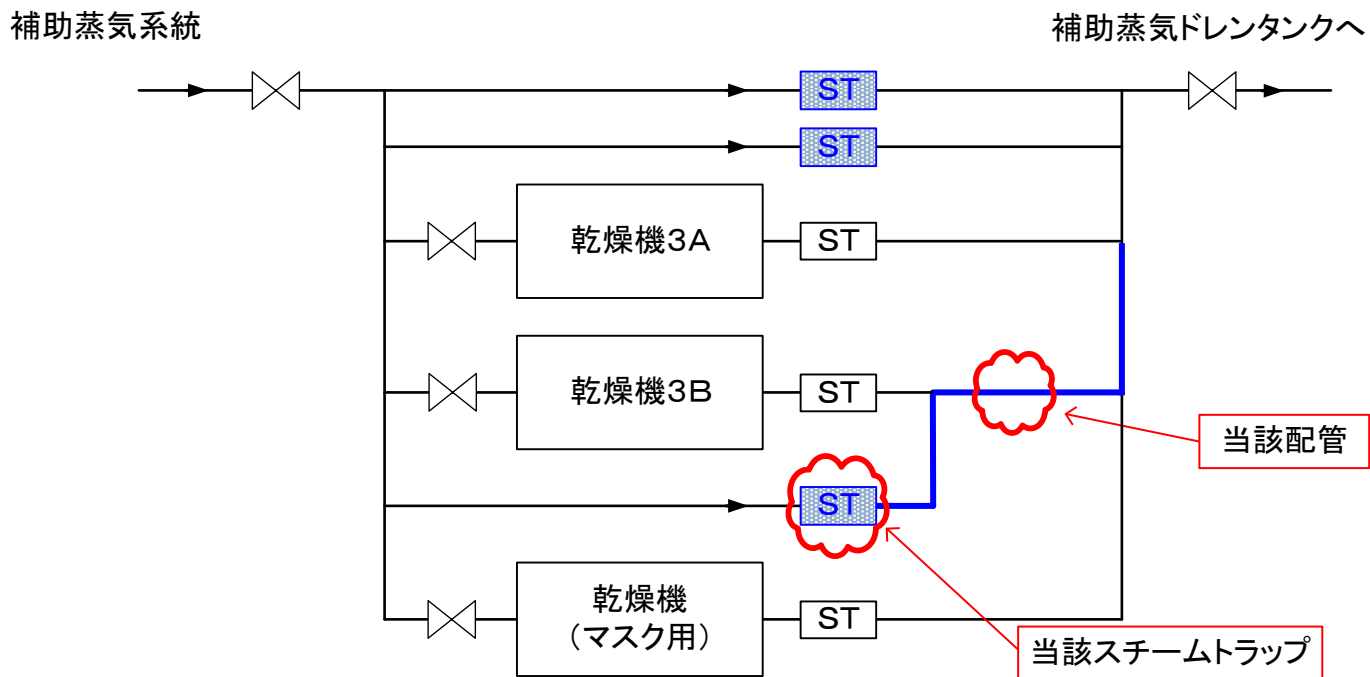
添付資料－ 3 配管の内表面目視結果

添付資料－ 4 配管の使用状況

添付資料－ 5 スチームトラップの点検結果

添付資料－ 6 補助蒸気復水配管の減肉の推定メカニズム

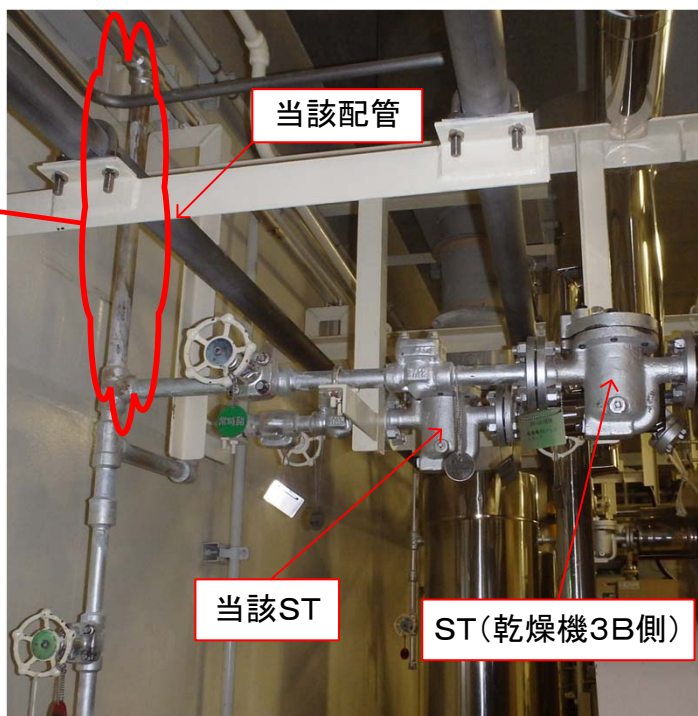
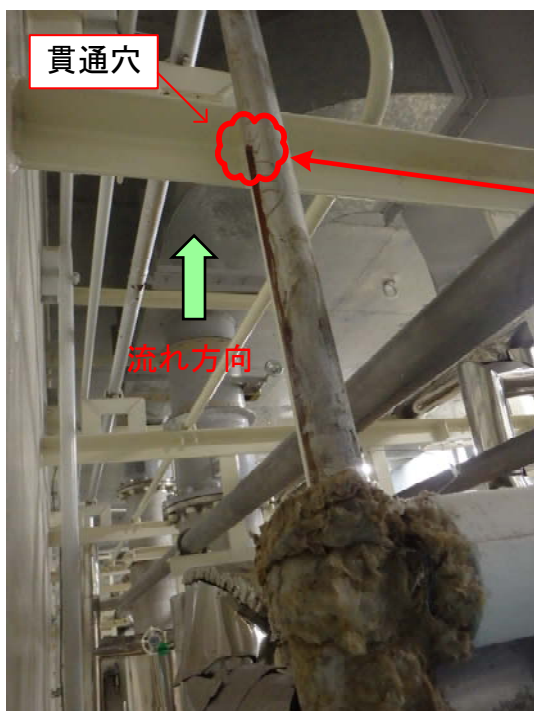
伊方発電所3号機 洗濯設備まわり概略系統図



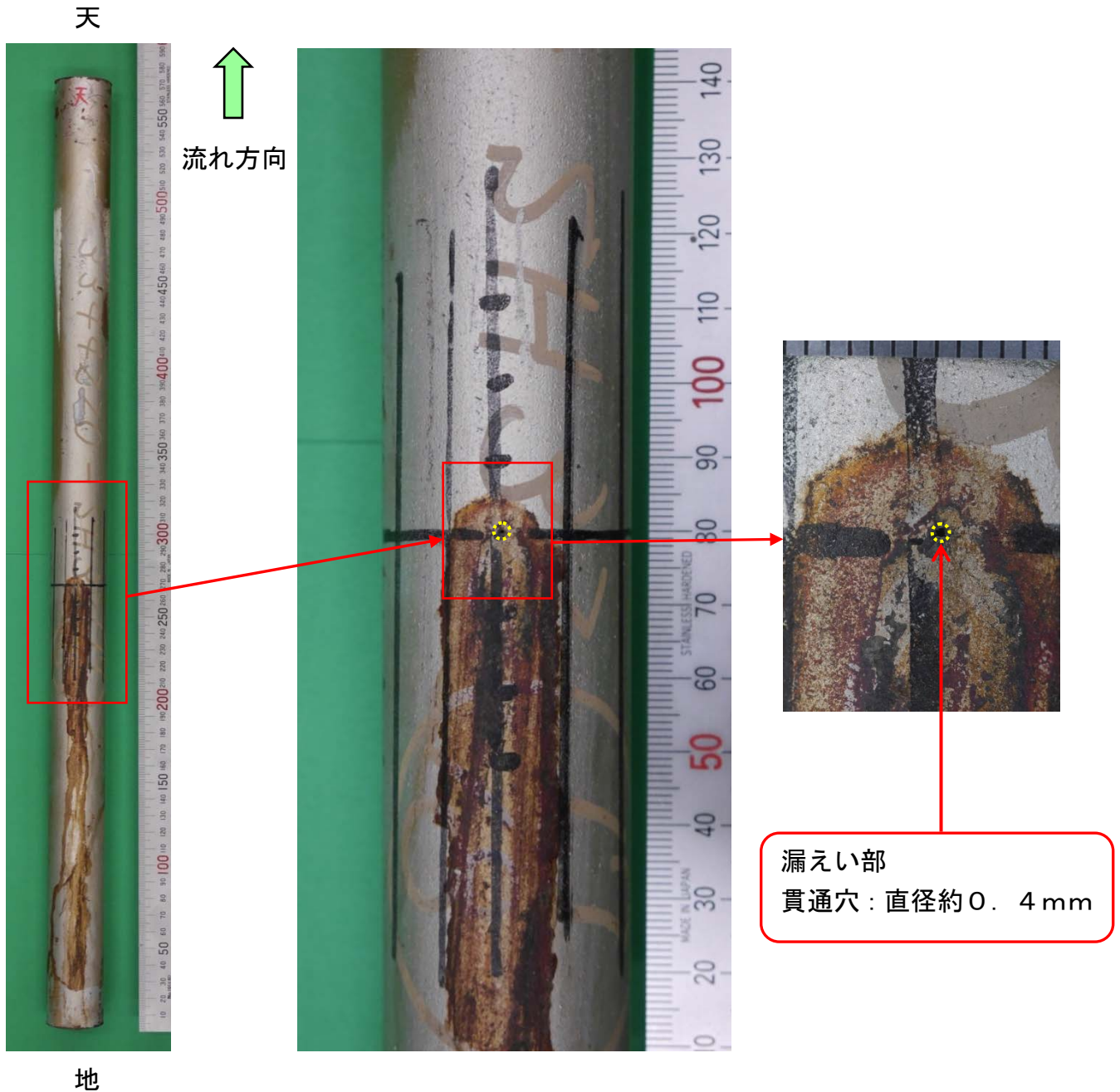
ST(スチームトラップ): 補助蒸気内の復水を排出し、蒸気を止める機能を持つ自動弁
凡例

— 配管取替範囲

ST 部品交換を実施したスチームトラップ

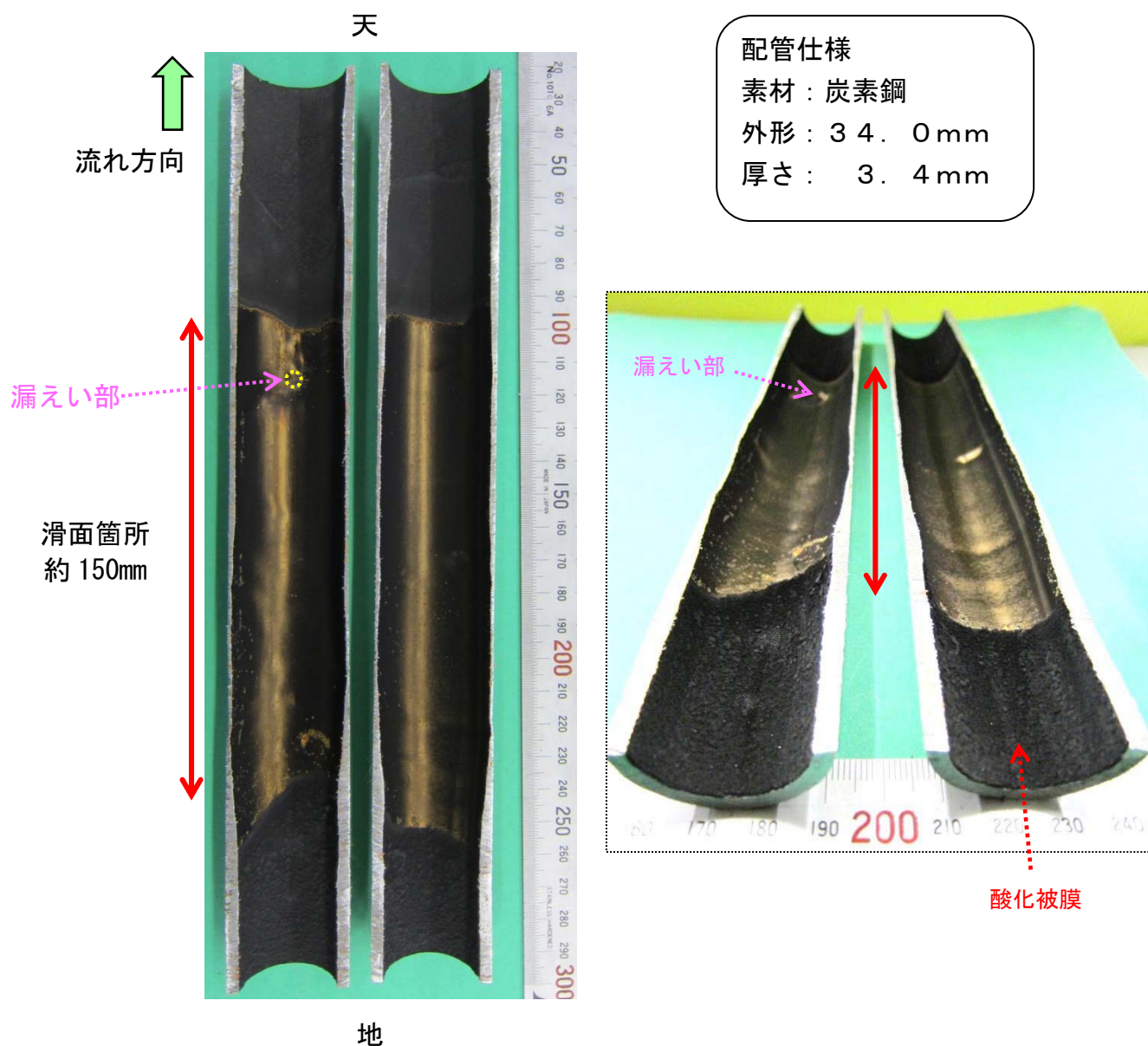


配管の外表面目視結果



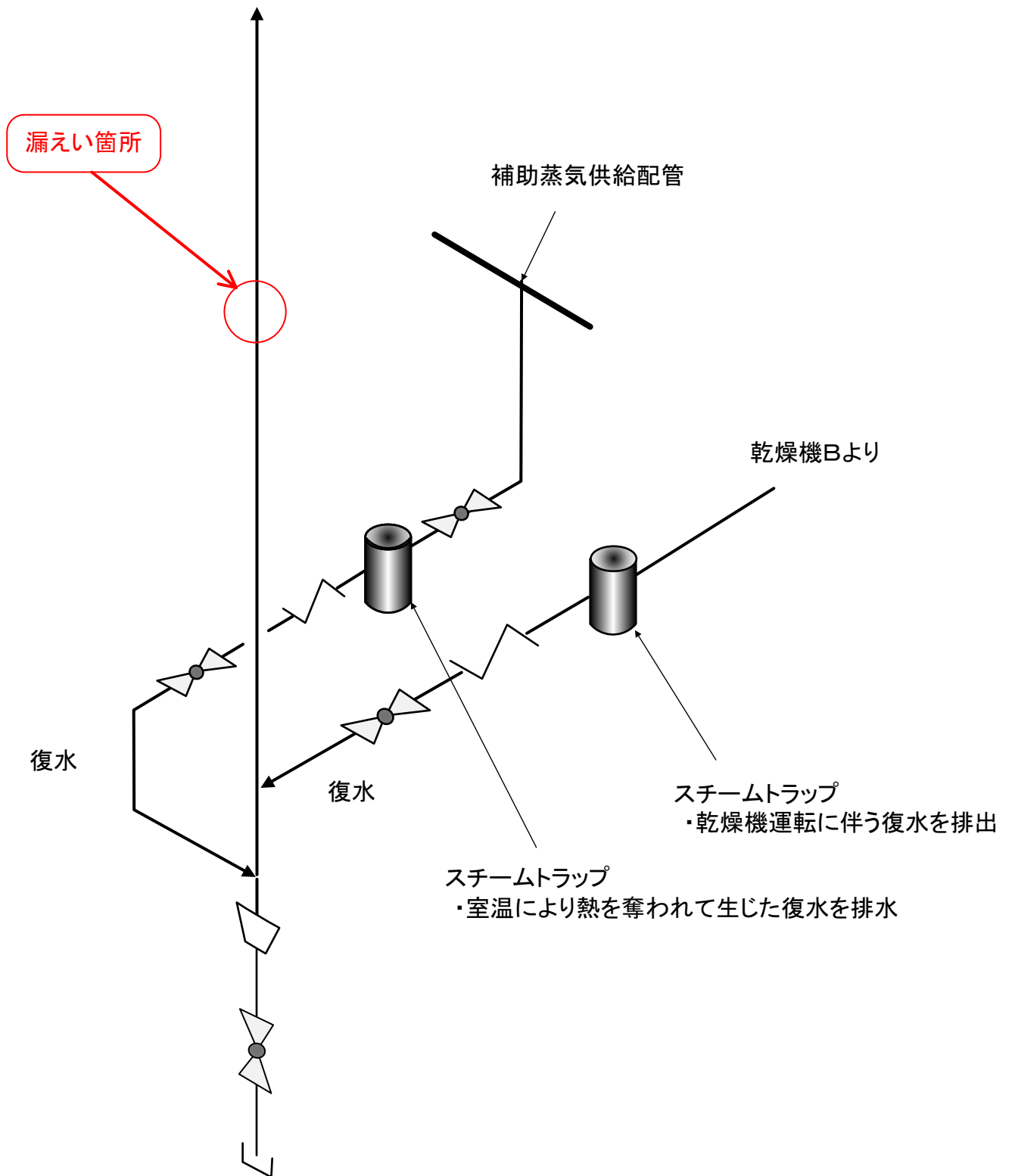
外表面目視調査の結果、貫通穴を1つ確認した。

配管の内表面目視結果



内表面目視調査の結果、長手方向に約150mmにわたり滑面箇所が認められた。また、滑面箇所では肉厚が薄くなっていることが認められた。滑面箇所以外は、酸化被膜に覆われており、減肉はほとんど認められなかった。

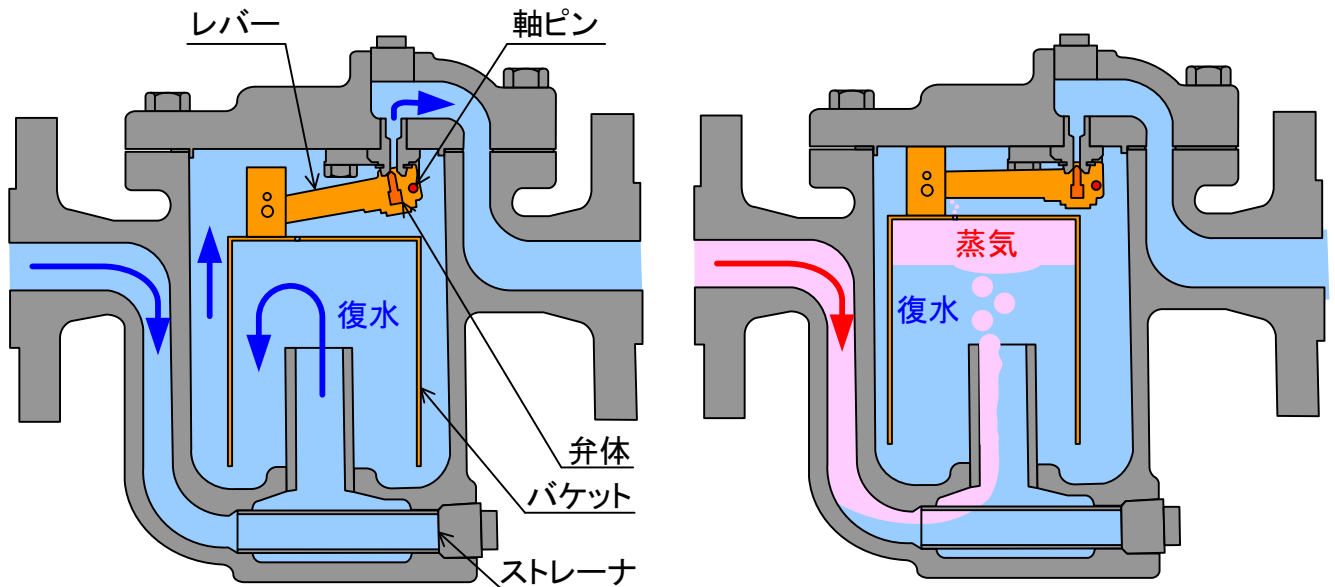
配管の使用状況



スチームトラップの点検結果

補助蒸気供給配管側のスチームトラップの構造と動作を図1に示す。

分解点検を実施した結果、弁体を支えている軸ピンが摩耗により折損し、弁体に取り付けられているレバーが外れ、閉止できなくなっていることを確認した。(図2)



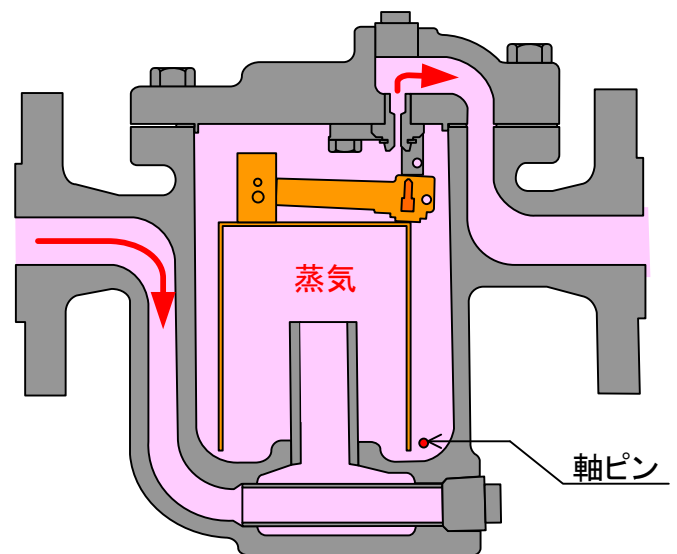
バケット内が復水で充水されると、バケットは沈み、弁体が解放されて復水が排出される。

通水している状態

蒸気が流入し、バケットが浮力により上昇すると、弁体が閉まり、復水の排出は停止する。

閉止した状態

図1 スチームトラップの構造と動作



軸ピンが折損し、弁体に取り付けられているレバーが外れて蒸気が連続で流れた。

図2 軸ピンの損傷状態

補助蒸気復水配管の減肉の推定メカニズム

スチームトラップが正常に動作している場合、減肉が確認された配管には比較的低温の復水が流れている。(図1)

補助蒸気供給配管側のスチームトラップの弁体を支えている軸ピンが折損し、弁体が閉まらなくなると、高温(約170℃)の蒸気がスチームトラップを通過して、乾燥機側の比較的低温(約90℃)の復水と鉛直配管部で合流し、混合されて下流に流れる。(図2)

合流直後は、蒸気と復水の熱交換が行われていないため、復水の温度は比較的低いですが、熱交換が進むにしたがって復水の温度は上昇し、減肉が確認された範囲では復水の蒸発が進み、配管内表面に高温の液膜が形成された状態となる。(図3)

この領域においては、蒸気による流れが生じているため配管内表面に生成した酸化被膜の溶解が促進されたこと、また高温水の環境下であったことから配管内表面の溶解が促進された結果、配管の減肉が進み、貫通に至ったと推定される。

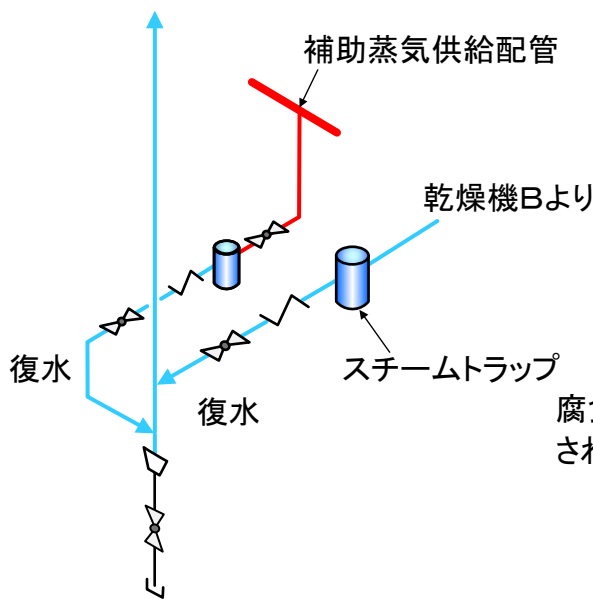


図1 スチームトラップ正常時の状態

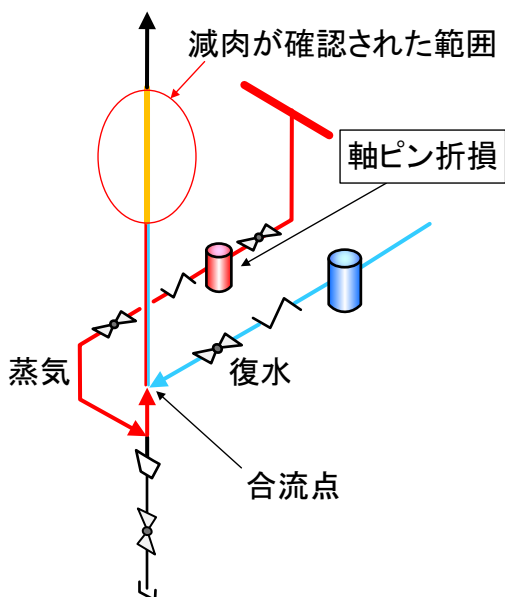


図2 スチームトラップの軸ピン折損時の状態

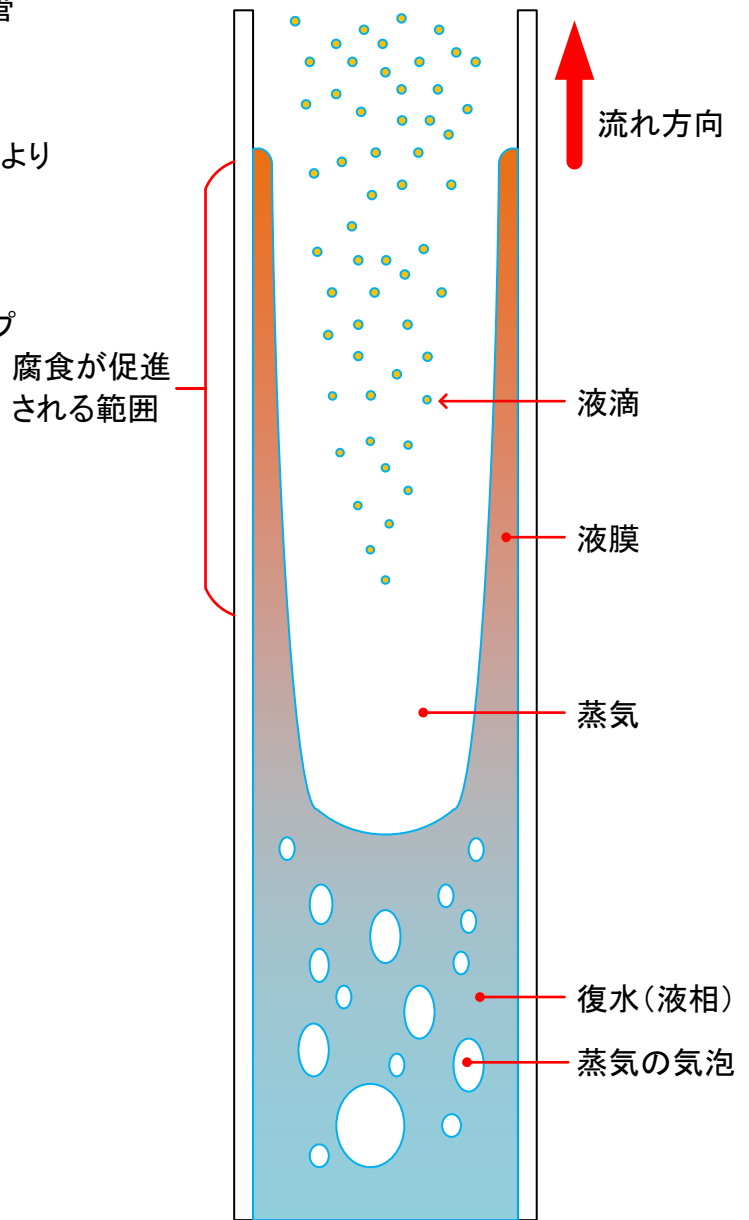


図3 合流点下流側における配管内の状態