

原子力発 第03074号
平成15年 6月26日

愛媛県知事
加戸守行 殿

四国電力株式会社
取締役社長 大西 淳

伊方発電所第1号機安全注入系統テストライン配管のひびに係る
報告書の提出について

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。平素は、当社事業につきまして格別のご理解を賜り、厚くお礼申し上げます。

さて、15環政第374号(平成15年6月18日付)にてご要請のありました「伊方1号機安全注入系統テストライン配管の傷に係る再発防止対策等について」について、調査結果及び再発防止対策を取りまとめましたので、安全協定第10条第4項に基づく報告とあわせて、別添のとおりご報告申し上げます。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜りますようお願い申し上げます。

敬 具

伊方発電所第1号機

安全注入系統テストライン配管のひびについて

平成15年6月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第1号機 安全注入系統テストライン配管のひびについて

2. 事象発生の日時

平成15年 6月13日 18時20分頃(確認)

3. 事象発生の設備

安全注入設備 安全注入系統テストライン配管

4. 事象発生時の運転状況

第21回定期検査中(平成15年 4月27日より)

5. 事象の概要

伊方発電所第1号機は、第21回定期検査を実施中であり、平成14年 5月25日に中部電力(株)浜岡2号機で発生した小口径配管と弁の溶接部が振動により損傷したトラブルの対応として、小口径配管の点検を実施していたところ、安全注入系統テストラインの小口径配管4箇所にてテープとみられる付着物を発見した。

このため当該箇所の液体浸透探傷検査(以下、「PT」という)を実施したところ、18時20分頃に2箇所、その後、21時40分頃に1箇所(合計3箇所)に点状の有意な指示を確認した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。(添付資料-1)

6. 調査結果

(1) 研削手入れ及びPT

有意な指示が確認された3箇所について、配管厚さを測定しながら研削手入れ(研削量:最大0.81mm)を行い、PTを実施した結果、3箇所とも線状の指示が確認された。

このため、当該箇所を切断して詳細調査を実施することとした。

(添付資料-2)

(2) ひびの詳細調査及び付着物調査

a. ひびの詳細調査

有意な指示が残った3箇所のひびの詳細調査を実施した結果、以下のことが確認された。

- ・表面ミクロ観察を実施した結果、いずれの部位も塩化物応力腐食割れの特徴である枝分かれした粒内割れが認められた。(添付資料-2)

- ・配管内面からのPTの結果、いずれも有意な指示は認められず、また、断面ミクロ観察の結果、ひびの深さは最大のもので配管内表面から0.65mmのところまで進展していたが貫通していなかった。また、母材のひびの形態は粒内割れであり、樹枝状の微小な分岐が多く認められ、塩化物応力腐食割れの特徴を示していた。(添付資料 - 3)
- ・ひびの深さが最大であった箇所破面観察を実施した結果、ひびの破面は外表面側ほど濃い褐色であり、外表面で発生し進展したものと推定された。(添付資料 - 4)
- ・ひびの深さが最大であった箇所の電子線マイクロアナライザ(EPM)による破面分析を実施した結果、ひびの先端部に塩素が認められた。(添付資料 - 5)

b. 付着物調査

配管表面の付着物について調査した結果、以下のことが確認された。

- ・付着物の外観は黒色であり、成分分析の結果、炭素と塩素が主成分であったことから、塩化ビニールテープが熱分解したものと推定された。なお、塩化ビニールテープは、伊方1号機の建設時に識別用として配管外表面に貼り付けていた。(添付資料 - 6)
- ・有意な指示が確認された箇所およびその近傍の配管表面について、スミヤ法による付着塩分量を測定した結果、付着物除去後の配管表面は101mg/m²、近傍配管表面は2mg/m²程度であった。(添付資料 - 7)

(3) 安全注入系統テストラインの調査

当該箇所以外の安全注入系統テストラインを調査した結果、77箇所に付着物が認められ、PTを実施したところ6箇所に有意な指示が確認された。

当該部について、配管厚さを測定しながら研削手入れを行い、PTを実施したところ、全ての箇所の指示は消滅した。(添付資料 - 8)

(4) 運転・保守状況の調査

安全注入系統テストラインは、通常運転中、毎月実施する高圧注入ポンプ定期運転時に燃料取替用水タンク水が短時間通水される以外は、滞留状態となっており、燃料取替用水タンク水の温度(約30℃)あるいは格納容器内の雰囲気温度(約30℃～40℃)に近い温度であることから、平成12年10月に発生した「1号機充てん配管耐圧検査中の漏えい」事象を反映して実施した点検の対象(内部流体温度100℃以上)とはなっていなかった。

今回の事象を踏まえて、過去の履歴を改めて確認したところ、建設時の温態機能試験(一次冷却材温度286℃、圧力157kg/cm²)時の安全注入系統逆止弁漏えい試験において、逆止弁が漏えいし、当該配管に高温水が流れたことが判明した。(添付資料 - 9)

7. 塩化物応力腐食割れに関する調査

(1) 塩化ビニールテープによる応力腐食割れの発生条件

平成12年10月に発生した「1号機充てん配管耐圧検査中の漏えい」事象における塩化ビニールテープによるステンレス配管の塩化物応力腐食割れの発生条件は以下のとおりであった。

- ・塩化ビニールテープが120 以上で加熱され、熱分解により塩化水素が発生する。
- ・その後、中性塩化物環境下で50～100 の温度に保持され、割れが発生、進展する。

〔 運転中120 以上となる配管は保温材で覆われていることから、塩素イオンは保温材から溶け出したナトリウムイオンやカルシウムイオン等と共存することにより、中和されて中性塩化物環境となる。 〕

このため、対策として、漏えいが発生すると原子炉の運転に支障を及ぼす系統及び放射能を含む系統のうち、内部流体温度が

- ・100～250 で加熱されるライン
- ・250 以上で短時間（累計300時間以内）加熱されるライン

について点検を実施した。

なお、内部流体温度が100 未満の場合は、塩化ビニールテープが熱分解しないため、また、内部流体温度が250 以上で長時間（累計300時間を超える）加熱した場合は、塩素イオンが減少し塩化物応力腐食割れが発生しないと考えられたため、代表箇所を選定して点検を実施した。

(2) 今回の事象に関する評価

a. 塩化ビニールテープの熱分解

付着物の外観、成分分析および配管表面の付着塩分量測定結果から、塩化ビニールテープは熱分解しており、これは過去の履歴等の調査結果から、建設中の機能試験時に逆止弁の漏えいに伴う高温水が流れたことによるものと推定される。

安全注入系統テストラインは、口径が小さいため、少量の高温水でも容易に温度上昇を起こす可能性がある。詳細な記録はないため、正確な温度、通水時間は確認できなかったが、当該箇所は約250 の状態に数時間はさらされたものと推定される。

b . 割れの発生と進展

1号機充てん配管の場合においては、保温材で配管が覆われていたことから、塩化物イオンは保温材に含まれるナトリウムイオンやカルシウムイオン等と共存し、中和されて中性塩化物環境下にあった。一方、本事象では、安全注入系統テストライン配管は保温材で覆われておらず、塩化物イオンが中和されないこと、また、破面における成分分析においてもナトリウム、カルシウムは検出されておらず、付着物の成分分析結果においてもほとんど検出されていないことから、当該箇所は、酸性塩化物環境下に近い状態にあったと考えられる。

(添付資料 - 5、6)

一般にステンレス鋼は酸性水溶液下の塩化物イオンによって室温でも応力腐食割れを起こし得ることが示されており、当該箇所はその後の運転中において、酸性塩化物環境下に近い状態で約30～40℃の温度で長期間経過したことにより、塩化物応力腐食割れが発生し、進展したものと推定される。

以上のことから、今回の事象の原因となった塩化物応力腐食割れの発生と進展のメカニズムは、「1号機充てん配管耐圧検査中の漏えい」事象により得られた知見、あるいは、その他の塩化物応力腐食割れに関する知見に整合するものであり、これまで、配管の温度履歴に着目して実施してきた点検方針自体に影響は与えない。しかしながら、温度履歴の調査が結果的に不十分であったことを踏まえ、高温流体が流入する可能性がある配管について点検範囲の見直しを行うこととする。

8 . 推定原因

本事象は、

- ・ 建設時の試験時において、逆止弁の漏えいにより、当該配管に高温水が流れたこと
- ・ 付着物は塩化ビニールテープと推定され、破面にも塩素の付着が認められたこと
- ・ ひびには、塩化物応力腐食割れの特徴である枝分かれした粒内割れが認められたこと
- ・ 当該箇所は、保温材に覆われていないことから、塩化物イオンが中和されない酸性塩化物環境下に近い状態であったと考えられることから、配管表面に貼り付けた塩化ビニールテープが高温水により熱分解し、酸性塩化物環境下に近い状態で塩化物応力腐食割れが発生したと推定される。

9. 対策

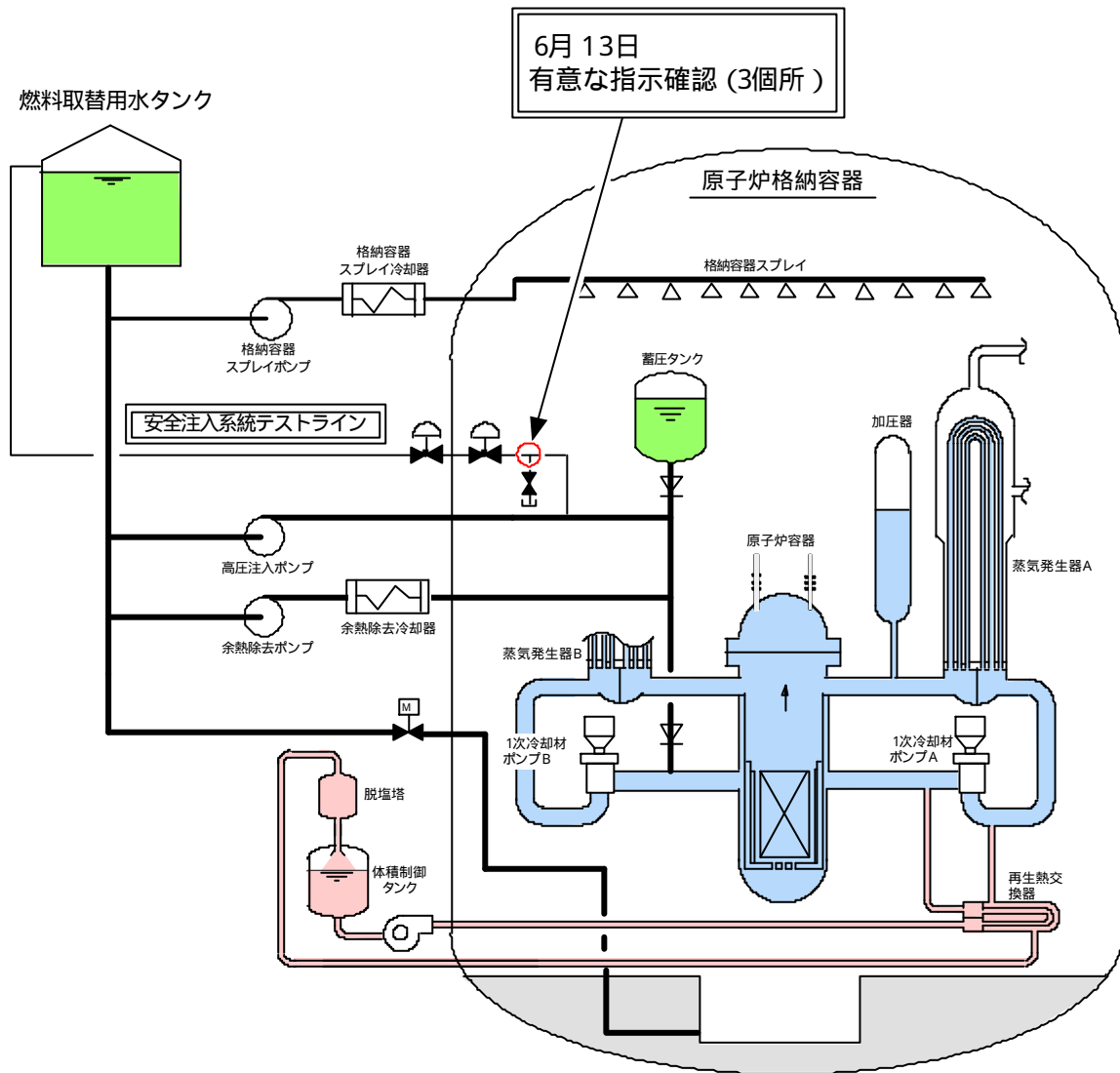
- (1) 当該3箇所については、配管を取替えた。なお、研削手入れ後に指示が消滅した6箇所については、配管厚さが強度上必要な厚さ以上であり、十分な厚さを有していることから継続使用する。
- (2) 今回の事象は、通常運転中は低温であるものの、過去の試験等において一時的に高温となった配管で発生したものであるが、運転履歴調査では十分な温度履歴の確認ができない。このため、高温配管に接続され、高温流体が流入する可能性のある範囲について点検を実施した結果、当該テストライン以外には異常は認められなかった。(添付資料 - 10)
- (3) 高温流体が流入する可能性がなく、100 以下の配管については、塩化ビニールテープによる塩化物応力腐食割れの可能性はないが、漏えいが発生すると原子炉の運転に支障を及ぼす系統及び放射能を含む系統でこれまで未点検の全ての範囲について、念のため今後2定検で計画的に点検又は取替えを実施する。(添付資料 - 11)
- (4) 伊方2、3号機については、
- ・建設時の温態機能試験時の安全注入系統逆止弁漏えい試験において1号機のような高温流体の流入実績がないこと
 - ・今回実施した1号機の当該ライン以外の追加調査では有意な指示は認められておらず、また、1号機に比べ運転時間も短いこと
 - ・3号機は使用したテープは必ず取り外すという運用を規定した後に建設されたプラントであること
- から直ちに問題となることはないが、1号機と同じ範囲について今後3定検で計画的に点検又は取替えを実施する。

以上

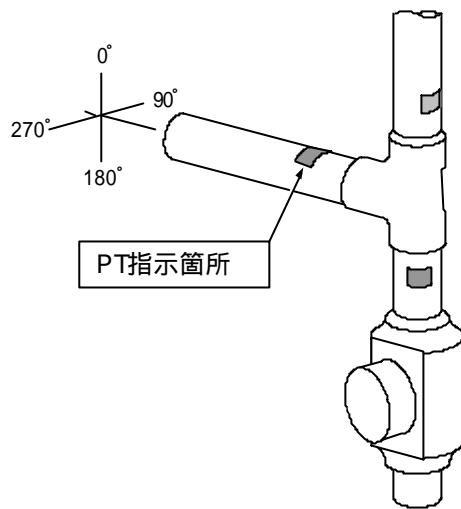
添付資料

- 添付資料 - 1 全体系統図
- 添付資料 - 2 外表面 P T 結果および表面ミクロ観察結果
- 添付資料 - 3 ひびの深さ調査
(内表面 P T および断面ミクロ観察)
- 添付資料 - 4 破面観察結果
- 添付資料 - 5 破面分析結果 (E P M A)
- 添付資料 - 6 付着物の成分分析結果
- 添付資料 - 7 付着塩分量測定結果
- 添付資料 - 8 安全注入系統テストライン調査結果 (P T 指示箇所)
- 添付資料 - 9 建設時の安全注入系統テストラインへの高温水
流入事象説明図
- 添付資料 - 1 0 ステンレス配管点検結果一覧表
- 添付資料 - 1 1 ステンレス配管点検計画表

全体系図

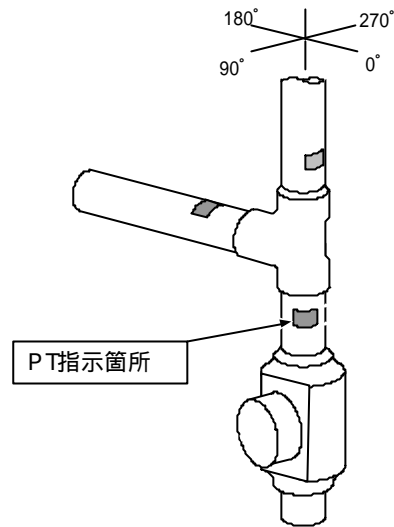


外表面 P T 結果および表面ミクロ観察結果



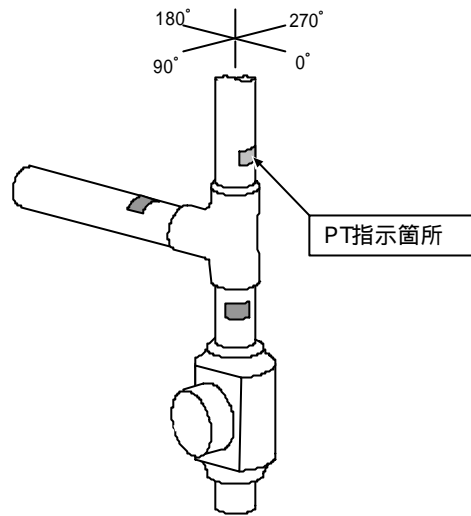
	P T 状況	指示状況
研削前		
研削後 (最大 0.81mm 研削)		
表面 ミクロ 観察		

外表面 P T 結果および表面ミクロ観察結果



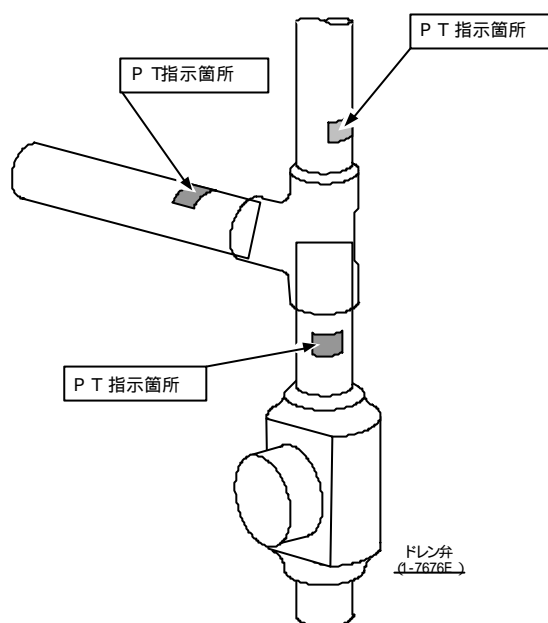
	P T 状況	指示状況
研削前		
研削後 (最大 0.41mm 研削)		
表面 ミクロ 観察		

外表面 P T 結果および表面ミクロ観察結果



	P T 状況	指示状況
研削前		
研削後 (最大 0.33mm 研削)		
表面 ミクロ 観察		

ひびの深さ調査結果



配管仕様

材質：ステンレス鋼 (SUS304TP)

外径：27.2 mm

内径：19.4 mm

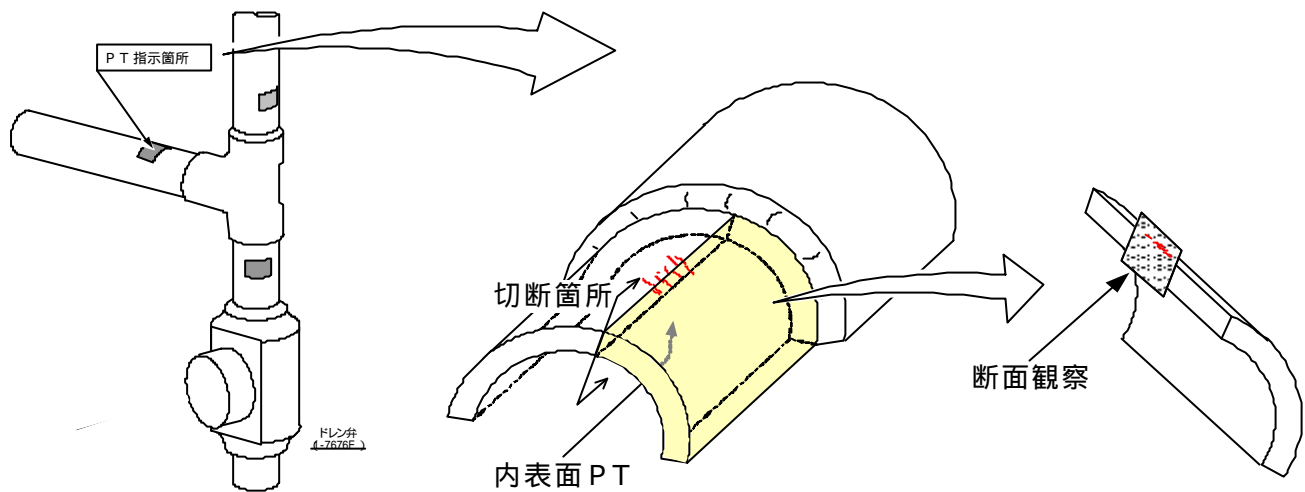
肉厚：3.9 mm

強度上必要な厚さ：1.3 mm

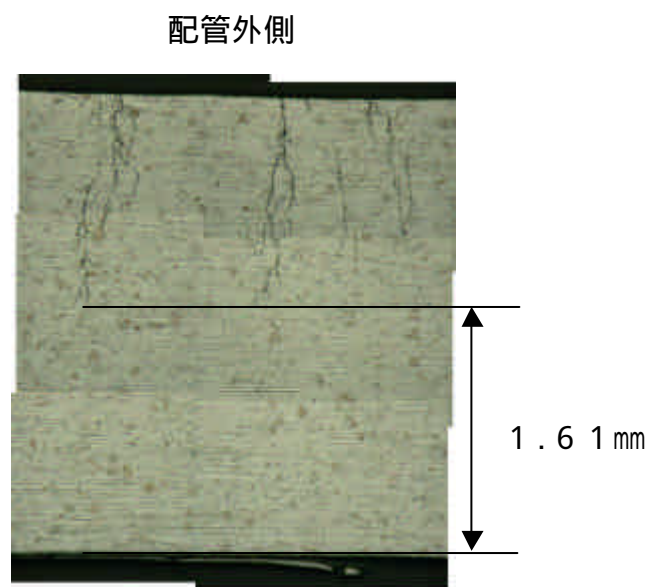
P T 指示箇所	初期の厚さ (mm)	ひび部の残留厚さ (mm)
	3.87 ~ 3.99	1.61
	3.78 ~ 3.85	1.33
	3.93 ~ 4.01	0.65

ひびの深さ調査結果

(内表面 P T および断面ミクロ観察)



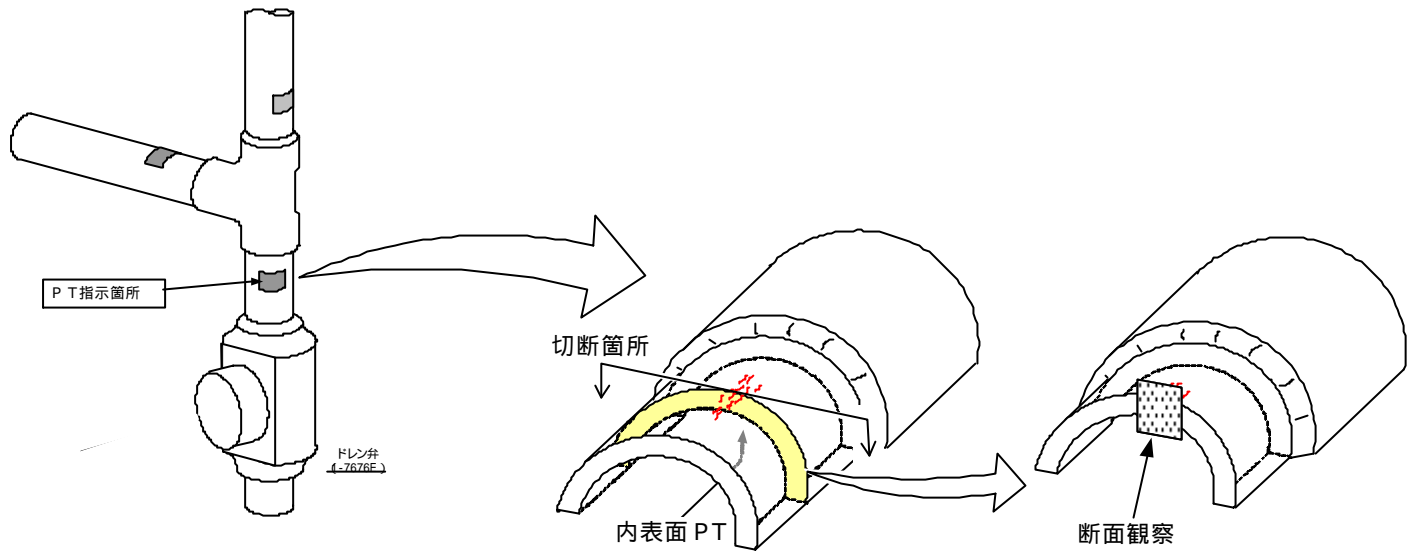
配管内表面 P T 結果



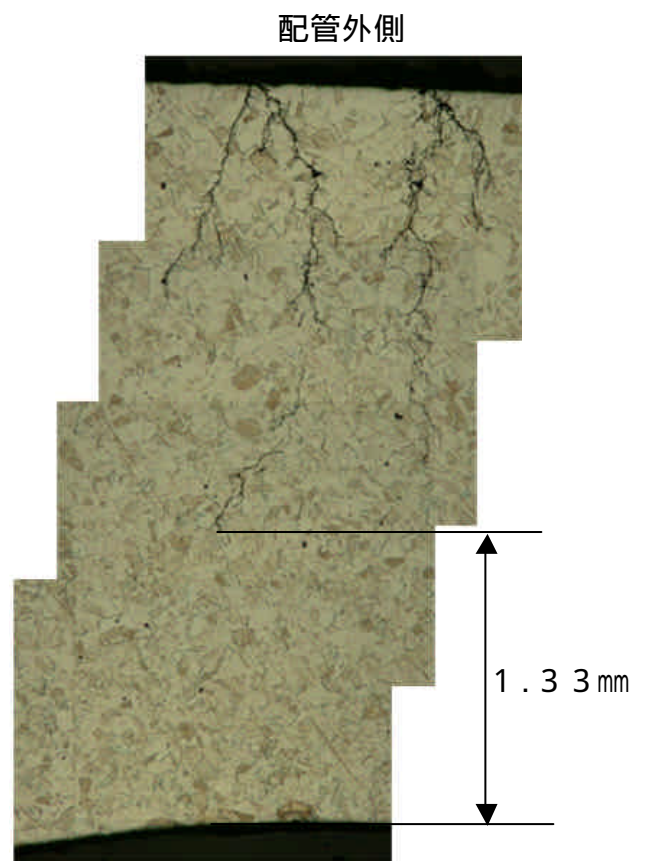
断面観察図

ひびの深さ調査結果

(内表面 P T および断面ミクロ観察)



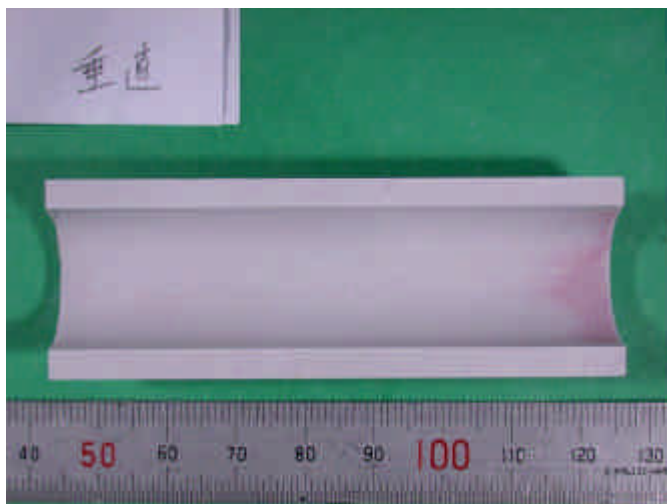
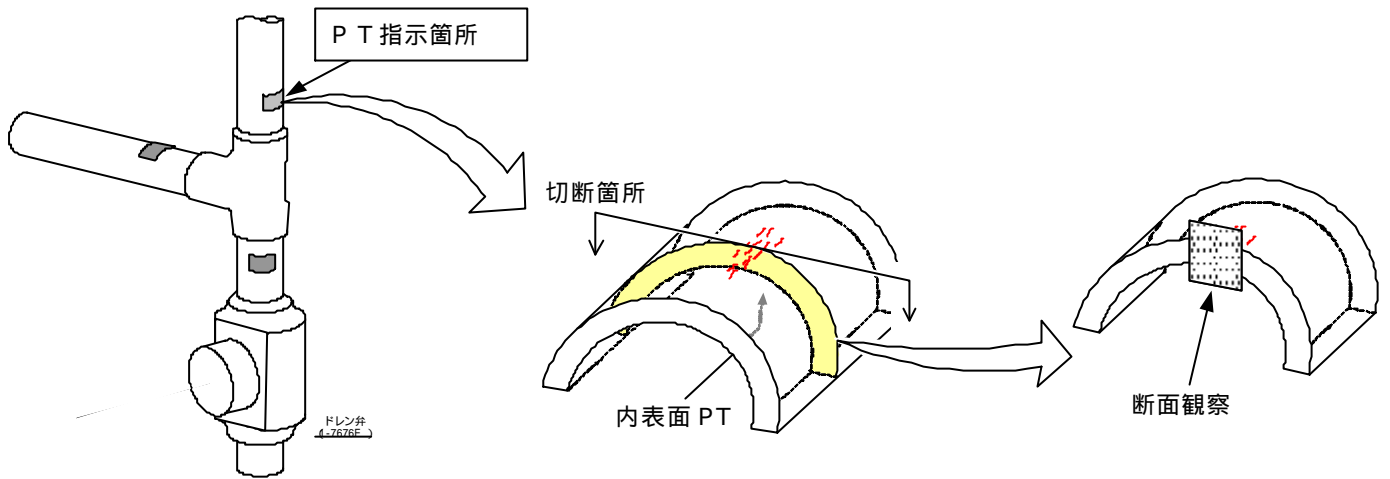
配管内表面 P T 結果



断面観察図

ひびの深さ調査結果

(内表面 P T および断面ミクロ観察)



配管内表面 P T 結果

配管外側

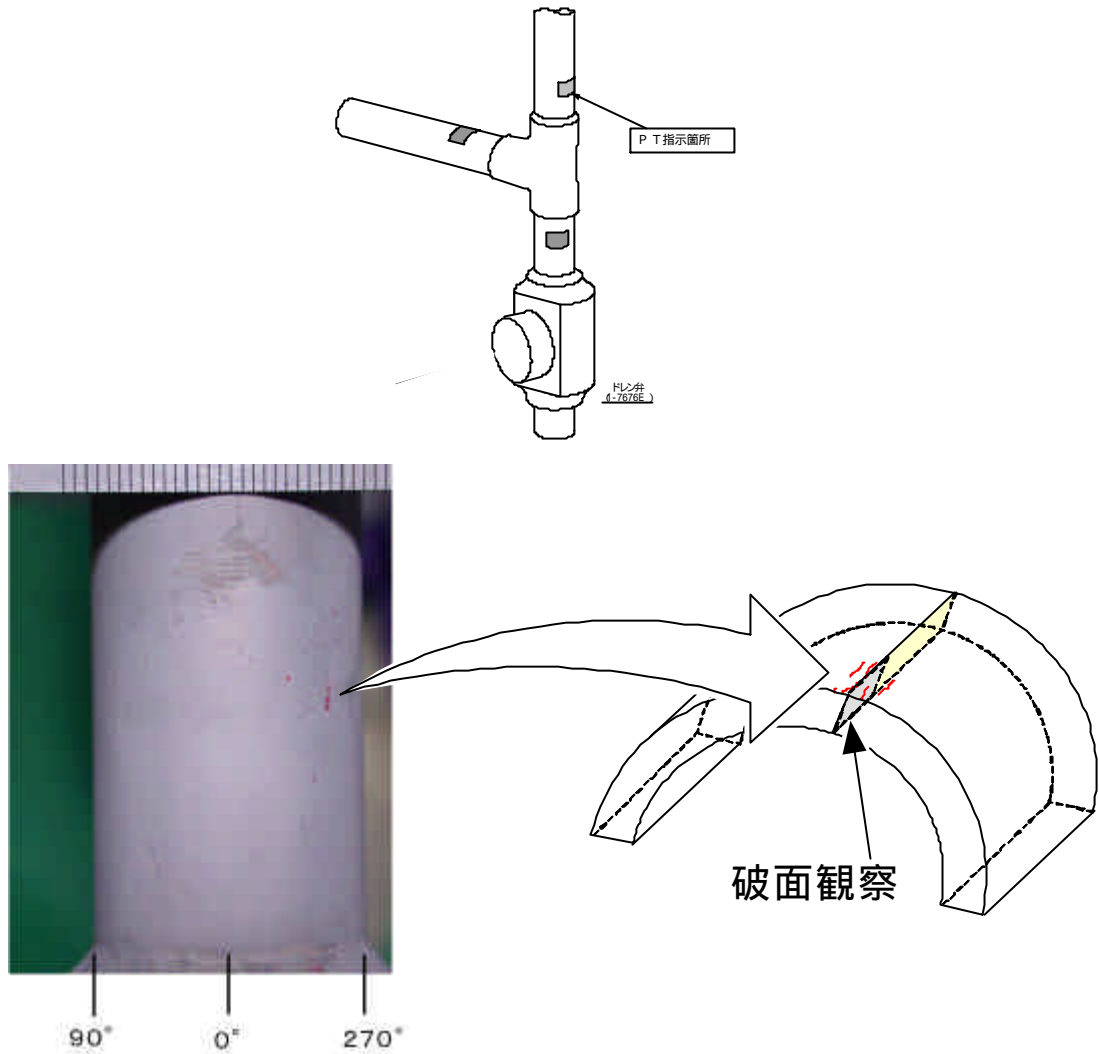


0.65 mm

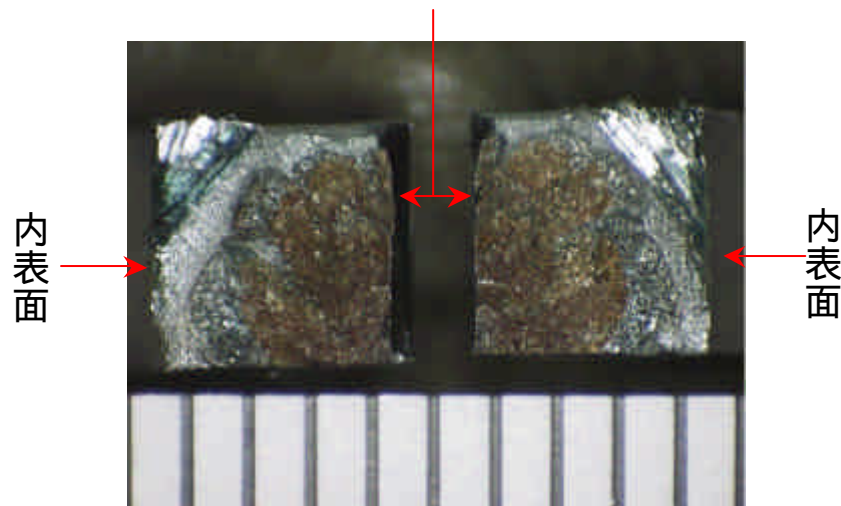
配管内側

断面観察図

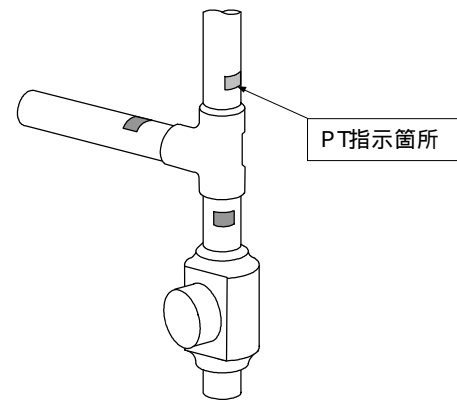
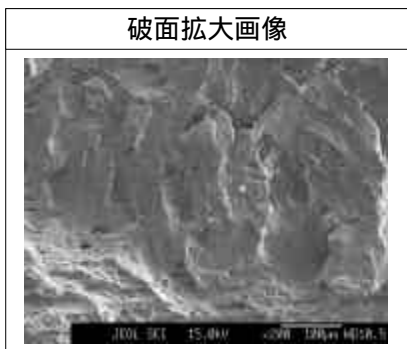
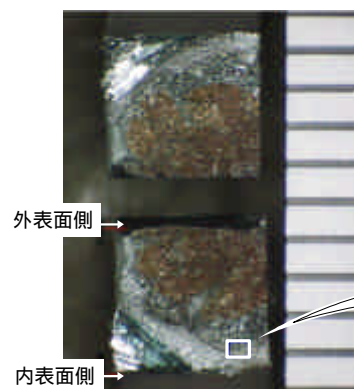
破面觀察結果 (指示箇所)



外表面



破面觀察図



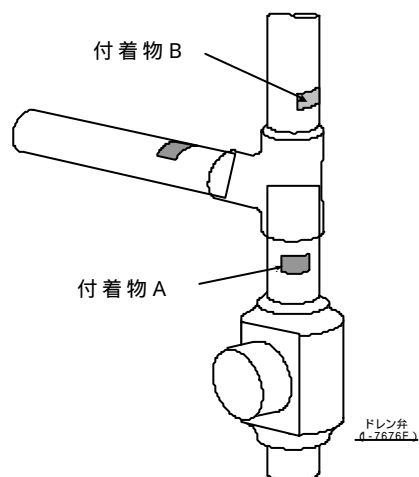
E P M A 分析画像

Fe	Cr	Ni	Cl	Na(検出されず)
C	O	Si	Mn	Ca(検出されず)

付着物の成分分析結果

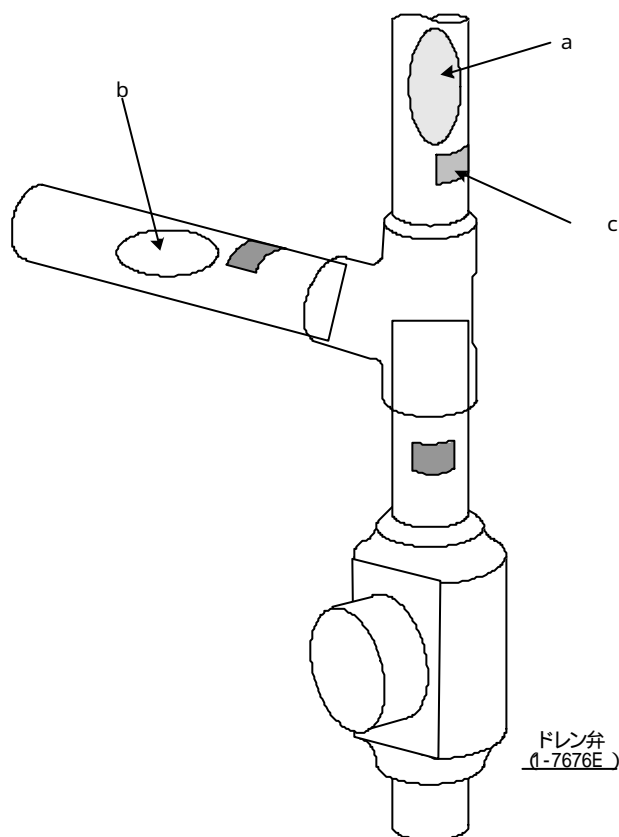
	含有率 (%)	
	付着物 A	付着物 B
炭素	7.5	7.8
酸素	5	4
塩素	1.5	1.4
鉄	-	-
チタン	1	< 1
鉛	3	3
マグネシウム	-	-
ケイ素	< 1	-
硫黄	< 1	< 1
カルシウム	< 1	-
クロム	-	-
マンガン	-	-
ニッケル	-	-
アルミニウム	< 1	< 1
リン	< 1	-
ナトリウム	-	-
カリウム	-	-
バリウム	-	-

(測定器：電子線マイクロアナライザ)

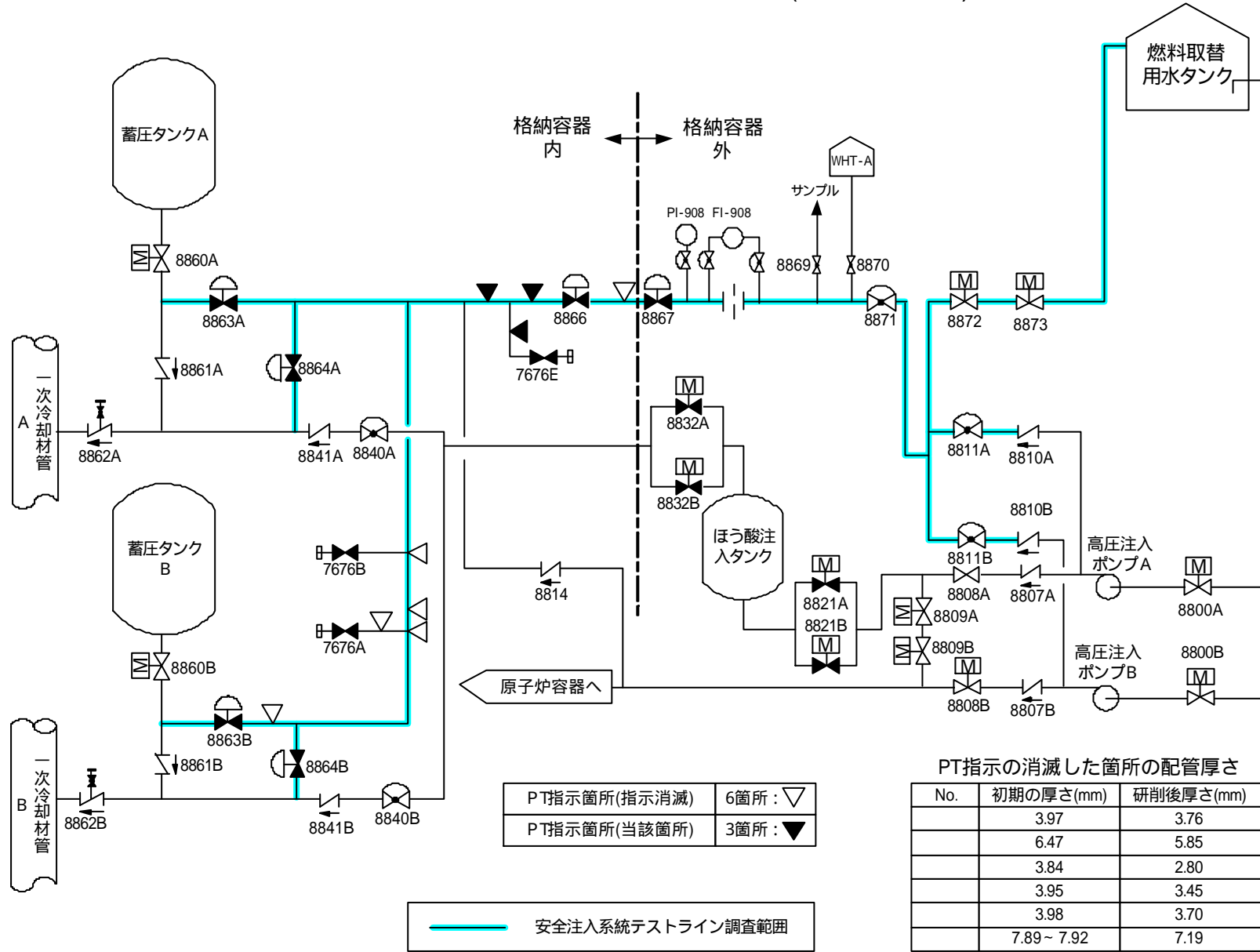


付着塩分量測定結果

No	採取場所	付着塩分量 (mg/m ²)	試料採取日時
a	浸透探傷検査直近部	< 1	6月13日 18時30分
b	浸透探傷検査直近部	2	6月13日 18時30分
c	テープ上 (テープ除去前)	32	6月13日 20時30分
	テープ下 (テープ除去後)	101	6月13日 20時30分



安全注入系統テストライン調査結果(PT指示箇所)



PT指示箇所(指示消滅)	6箇所 : ▽
PT指示箇所(当該箇所)	3箇所 : ▼

PT指示の消滅した箇所の配管厚さ

No.	初期の厚さ(mm)	研削後厚さ(mm)
	3.97	3.76
	6.47	5.85
	3.84	2.80
	3.95	3.45
	3.98	3.70
	7.89 ~ 7.92	7.19

(強度上必要な厚さ:1.3mm)

建設時の安全注入系統テストラインへの高温水流入事象説明図

伊方1号機建設工事の温態機能試験（RCS温度286、圧力157kg/cm²）時の安全注入系統逆止弁漏えい試験において、逆止弁が漏えいし、今回PT指示が認められた安全注入系統テストラインに高温水が流れていたことが分かった。その概要は以下のとおり。

1. 試験工程

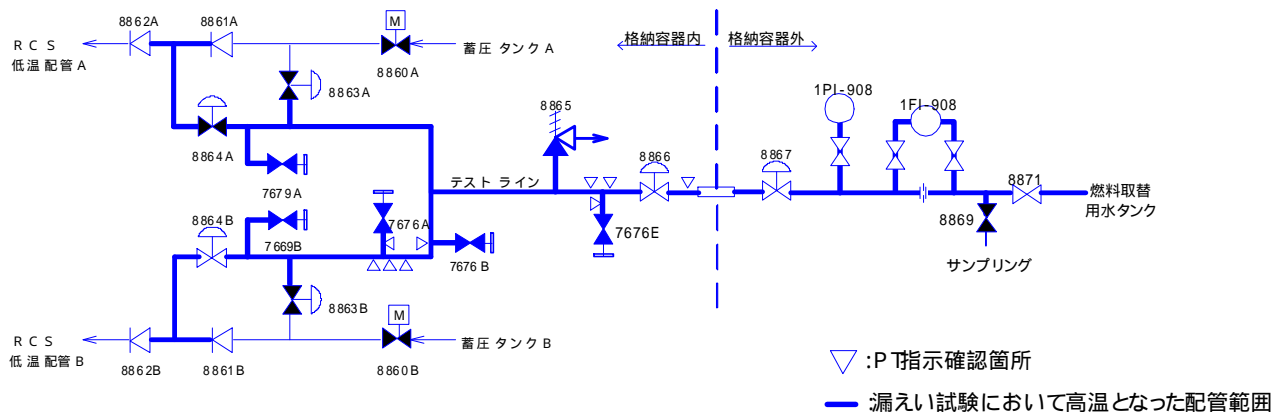
	昭和51年	昭和52年
主要工程	6月 7～8月 10月 C H T H F T 燃料 装荷	1月 2月 9月 初 初 営業 臨 並 運 界 列 転 開 始
工程	安全注入系統逆止弁漏えい試験	-

* CHT：冷態状態試験，HFT：温態機能試験

2. 時系列（B系統漏えい試験例）

蓄圧タンクB逆止弁（8862B）の漏えい試験のため、

- ・7月30日：テストライン弁8864Bを「開」としたところ、安全弁（8865）が動作し、試験を中止
- ・7月31日：安全弁の動作を防ぐため、テストライン隔離弁等（8866、8867、8871）を「開」として、再度、漏えい試験を行ったが、ドレン弁（7669B）から蒸気が漏えいし試験中止
- ・8月1日：前日と同様な試験を行い、圧力計（1PI-908）指示値（約105kg/cm²）は5分間程度変化がなかったため、試験中止



ステンレス配管点検結果一覧表

[点検対象範囲]

高温配管に接続され、高温流体が流入する可能性のある範囲

系 統	点検完了 範囲	今回点検結果		備 考
		付着物 箇所数	有意な PT 指示数(*)	
蓄圧注入ライン	全範囲	2	0	
高圧注入ライン	全範囲	6	0	
ほう酸注入ライン	全範囲	2	0	
安全注入テストライン	全範囲	81	3	当該3箇所含む
加圧器安全弁等排気ライン	全範囲	30	0	

(*) 研削手入れにより P T 指示の消滅した箇所を除く。

伊方 1 号機 ステンレス配管点検計画表

系 統	区 分	実 績(定検回)		点 検 計 画	備 考	
		~ 2 0	2 1			
		H15				
1 次冷却系統	1 次冷却材管分岐管	A				
	加圧器スプレライン	A				
	加圧器サージライン	A				
	加圧器逃がしライン	A				
	原子炉水位計ライン	A				
		C				
	加圧器安全弁排気ラインほか	B				
C						
化学体積制御系統	充てんライン	A				
		C				
	加圧器補助スプレライン	A				
	抽出ライン・余剰抽出ライン	A				
		C				
	ほう酸補給ライン	C				
	1 次冷却材ポンプ封水注入・戻りラインほか	C				
安全注入系統	蓄圧注入ライン	A				
		B				
		C				
	高圧注入ライン	B				
		C				
	ほう酸注入ライン	A				
		B				
安全注入テストライン	B					
余熱除去系統	余熱除去ライン	A				
	格納容器再循環サンブライン	C				
主蒸気・主給水系統	主蒸気ライン	A				
	主給水ライン	A				
		C				

区分は、A：塩化ビニールテープによる塩化物応力腐食割れが発生する可能性がある範囲

B：高温配管に接続され、高温流体が流入する可能性のある範囲

C：A，B以外で、漏えいが発生すると原子炉の運転に支障を及ぼす系統および放射能を含む系統の範囲

：点検又は取替実績 ：点検又は取替計画

伊方 1 号機 ステンレス配管点検計画表

系 統		区 分	実 績(定検回)		点 検 計 画	備 考
			~ 2 0	2 1 H15		
格納容器スプレイ系統	格納容器スプレイライン	C				リングヘッド-範囲除く
	よう素除去薬品タンク出口ライン	C				
使用済燃料ピット水浄化冷却系統	使用済燃料ピット冷却水浄化ライン	C				
放射性廃棄物処理系統	液体廃棄物処理ライン	C				
	気体廃棄物処理ライン	C				
	固体廃棄物処理ライン	C				高線量範囲除く
試料採取系統	1次系サンプリングライン	A				
		C				
補助蒸気系統	補助蒸気ライン	C				
原子炉補給水系統	原子炉補給水ライン	C				
蒸気発生器ブローダウン系統	蒸気発生器ブローダウンライン	C				
	蒸気発生器ブローダウンサンプリングライン	A				
		C				
燃料取替用水系統	燃料取替用水タンク循環ライン	C				
制御用空気系統	制御用空気ライン	C				
原子炉格納容器減圧・試験系統	原子炉格納容器減圧・試験ライン	C				
モニタリング系統	モニタリングライン	C				
非常用ディーゼル発電機系統	非常用ディーゼル発電機ライン	C				
炉内核計測装置ガス系統	炉内核計測装置ガスパーズライン	C				

区分は、A：塩化ビニールテープによる塩化物応力腐食割れが発生する可能性がある範囲

B：高温配管に接続され、高温流体が流入する可能性のある範囲

C：A，B以外で、漏えいが発生すると原子炉の運転に支障を及ぼす系統および放射能を含む系統の範囲

：点検又は取替実績 ：点検又は取替計画

伊方 1 号機 ステンレス配管点検計画表

系 統		区 分	実 績(定検回)		点 検 計 画	備 考
			~ 2 0	2 1		
				H15		
蒸気系統	抽気ライン	A				
		C				
	低温再熱蒸気ライン	A				
	その他蒸気ライン	A				
ベント・ドレン系統	高圧ベント・ドレンライン	A				
		C				
	低圧ベント・ドレンライン	C				
	抽気ドレンライン	A				
		C				
	その他ドレンライン	A				
C						
補助給水系統	補助給水ライン	C				
給水系統	給水ライン	A				
復水系統	復水ライン	A				
		C				
脱気器廻り系統	脱気器廻りベント・ドレンライン	A				
	その他脱気器廻りライン	A				
純水系統	2次系純水ライン(2次系純水タンク~復水器)	C				
制御用空気系統	制御用空気ライン	C				
試料採取系統	2次系サンプリングライン	A				
		C				
発電機ガス系統	発電機窒素ガス供給ライン	C				

区分は、A：塩化ビニールテープによる塩化物応力腐食割れが発生する可能性がある範囲

B：高温配管に接続され、高温流体が流入する可能性のある範囲

C：A，B以外で、漏えいが発生すると原子炉の運転に支障を及ぼす系統および放射能を含む系統の範囲

：点検又は取替実績 ：点検又は取替計画