

玄海原子力発電所 3 号機  
脱気器空気抜き管からの蒸気漏れについて

平成30年4月13日  
九州電力株式会社

# 目次

1．事象発生状況

2．点検及び調査の結果

3．考察

4．推定原因

5．対策

6．玄海4号機への対応

補足1 脱気器空気抜き管からの蒸気漏れに伴う安全確認

補足2 外装板・保温材の取替え、配管点検の方針

補足3 点検のやり方の評価・改善

補足4 腐食進展の考察

## 1 . 事象発生状況 ( 1 / 4 )

- 玄海原子力発電所 3 号機は、発電機出力 7 5 % で調整運転を行っていたところ、3 月 3 0 日 1 9 時頃に、2 次系設備である脱気器空気抜き管からの微少な蒸気漏れを確認した。
- このため、発電機出力を 7 5 % から負荷降下を行い発電を停止し、脱気器空気抜き管の点検及び調査を実施することとした。
- なお、本事象による環境への放射能の影響はない。

### (時系列)

3 月 2 5 日	1 4 : 2 9	発電機並列
3 月 3 0 日	1 9 : 0 0 頃	脱気器配管付近で微少な蒸気漏れを確認
3 月 3 1 日	1 : 0 0	7 5 % 出力からの負荷降下開始
3 月 3 1 日	6 : 0 2	発電機解列
4 月 1 日	1 4 : 2 0	点検開始
4 月 9 日	2 2 : 0 0	点検終了

# 1. 事象発生状況 (2 / 4)

- 脱気器の空気抜き管は、放射性物質を含まない2次系の系統水に含まれる微量な酸素や炭酸ガス等の非凝縮性ガスを除去するための機器である脱気器の上部に設置されている。

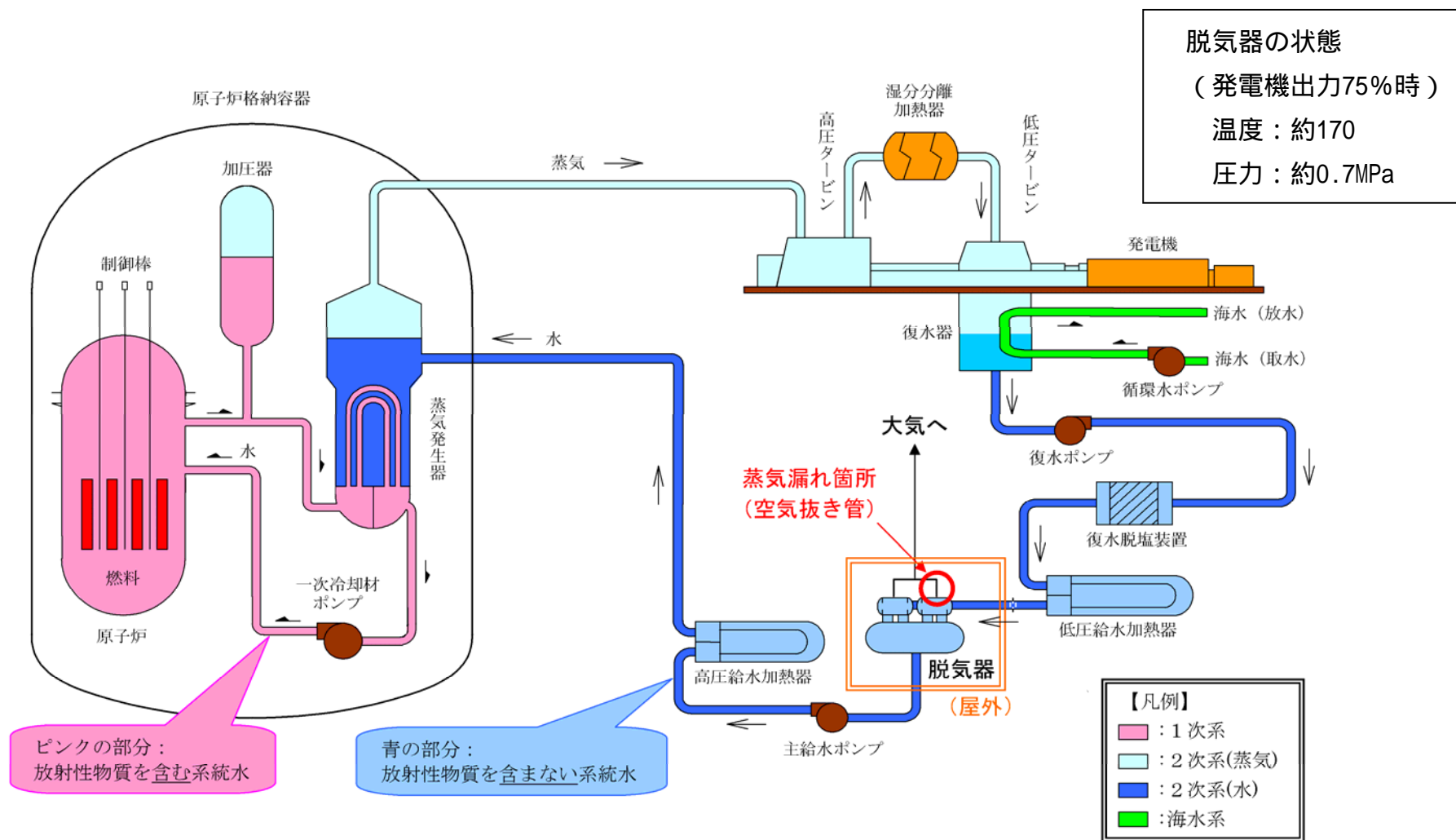


図 1 - 1 概略系統図

# 1. 事象発生状況 ( 3 / 4 )

- 蒸気漏れが発生した箇所は、脱気器の第5空気抜き管（以下「当該管」という。）であった。

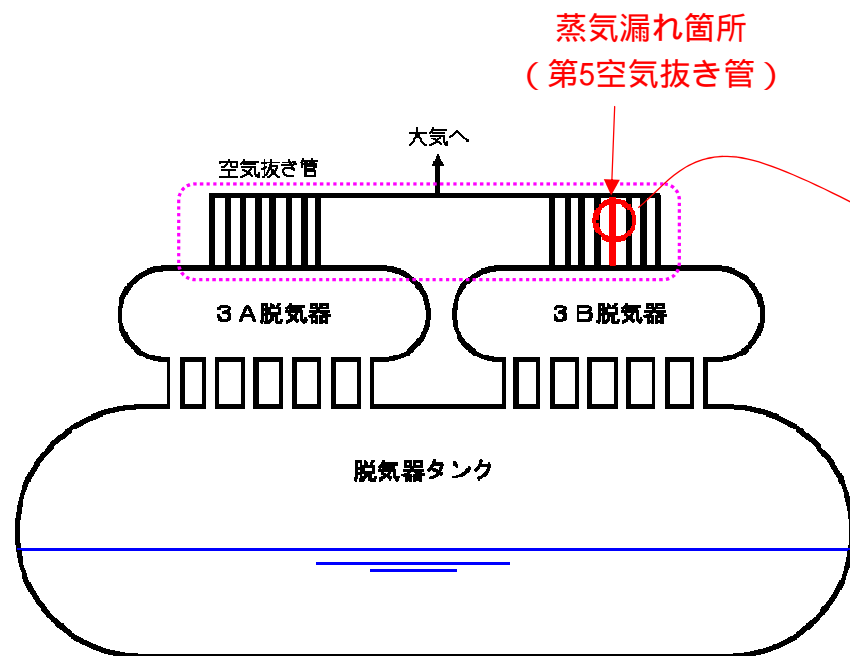


図 1 - 2 脱気器概要図

脱気器・・・給水中の非凝縮性ガスを取り除き、給水を加熱する。  
 空気抜き管...脱気器で取り除いた非凝縮性ガスを大気へ放出する。

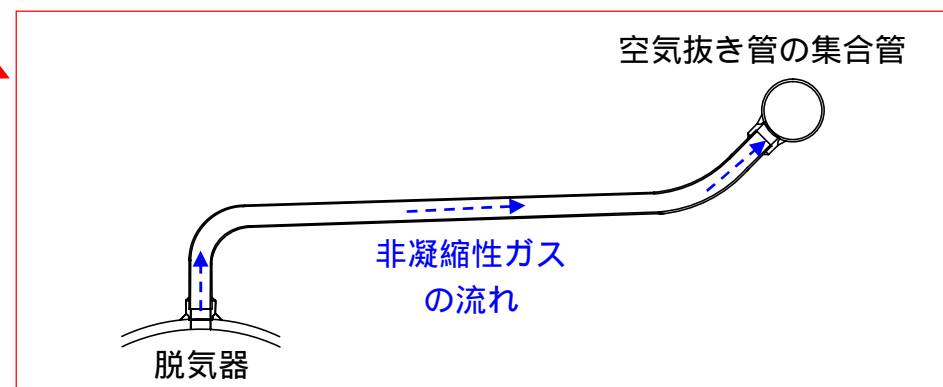


図 1 - 3 脱気器空気抜き管の概要図

表 1 - 1 脱気器空気抜き管の仕様

本 数	16本（蒸気漏れは1本のみ）
外 径（呼び径）	60.5mm（50A）
肉 厚	3.9mm
材 質	STPG38（炭素鋼）

# 1 . 事象発生状況 ( 4 / 4 )

( 参考 ) 保温材・外装板について

- 蒸気系統などの高温配管には、放熱の低減や火傷を防止するため、保温材を施工している。
- 保温材の外周には、防湿・保護などを目的として、外装板を取り付けている。
- 保温材の厚さは、配管のサイズ、配管内部の温度から、表面温度が外気温程度となるのに必要な厚さを計算し、選定する。

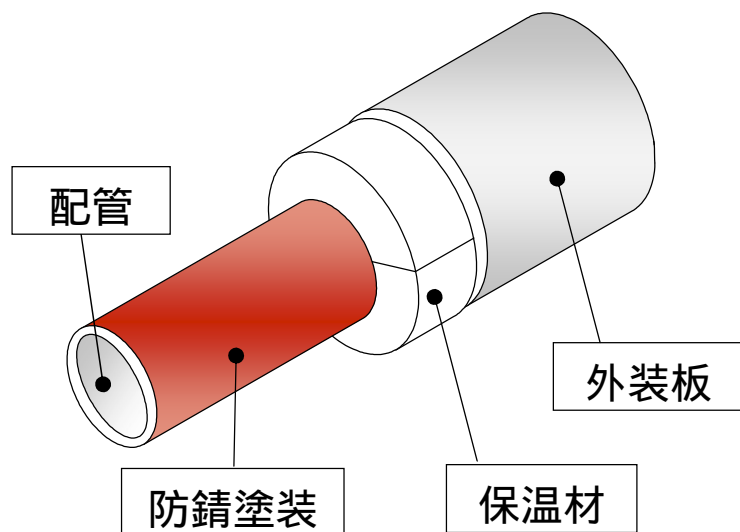


図 1 - 4 保温材概要図 ( 直管部 )

表 1 - 2 保温材の仕様

	仕 様
保温材の材質	ケイ酸カルシウム ( 成型品 )
保温材の厚さ	約50mm

曲がり部はロックウール等の人工繊維が使用される。

表 1 - 3 外装板の仕様

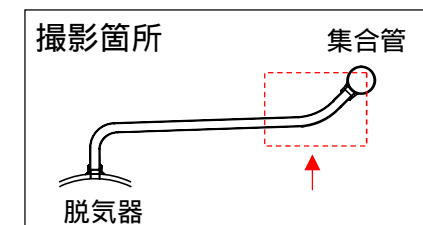
	仕 様
外装板の材質	鋼板 ( 溶融亜鉛メッキ )
外装板の厚さ	約0.3mm

表 1 - 4 防錆塗装の仕様

	仕 様
防錆塗装	シリコン樹脂下塗塗料

## 2 . 点検及び調査の結果 ( 1 / 3 ) 【外装板】

- 当該管の外装板下面の一部に著しい錆が確認された。

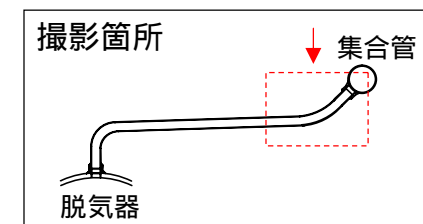


- ・ 配管下面より撮影
- ・ 曲がり部については、外装板及び保温材を取り外して撮影

図 2 - 1 当該管の外装板

## 2 . 点検及び調査の結果 ( 2 / 3 ) 【空気抜き管】

- ( 1 ) 外面点検
- 当該管の水平部分の上面の一部に、腐食による明らかな凹みが確認された。
  - また、その凹み部分の1箇所に通孔が確認された。  
通孔近傍の配管は外面から内面に向い段々に凹んでいた。
- ( 2 ) 内面点検
- 当該管の内面からの腐食による明らかな凹みは確認されなかった。



- ・ 配管上面より撮影
- ・ 外装板及び保温材を取り外して撮影

貫通孔  
(長さ13mm×幅6mm程度)

図 2 - 2 当該管の外面



## 2 . 点検及び調査の結果 ( 3 / 3 ) 【当該管の過去の点検実績】

- 当該管の水平部分は、外装板及び保温材を取り付けた状態での巡視点検等を実施しているものの、保温材を取り外しての点検実績はなかった。

### ( 1 ) 定期検査時の点検

- ・ 当該管の漏えい箇所近傍の水平部分は、保温材を取り外した外観点検を実施していなかった。
- ・ 当該管の漏えい箇所近傍の曲がり部は、第10回定期検査 ( H18.12 ~ H19.3 ) において肉厚測定を実施した際、漏えい箇所近傍の曲がり部の外装板及び保温材を取り外した範囲の配管外面に、著しい腐食があるとの所見は確認されなかった。

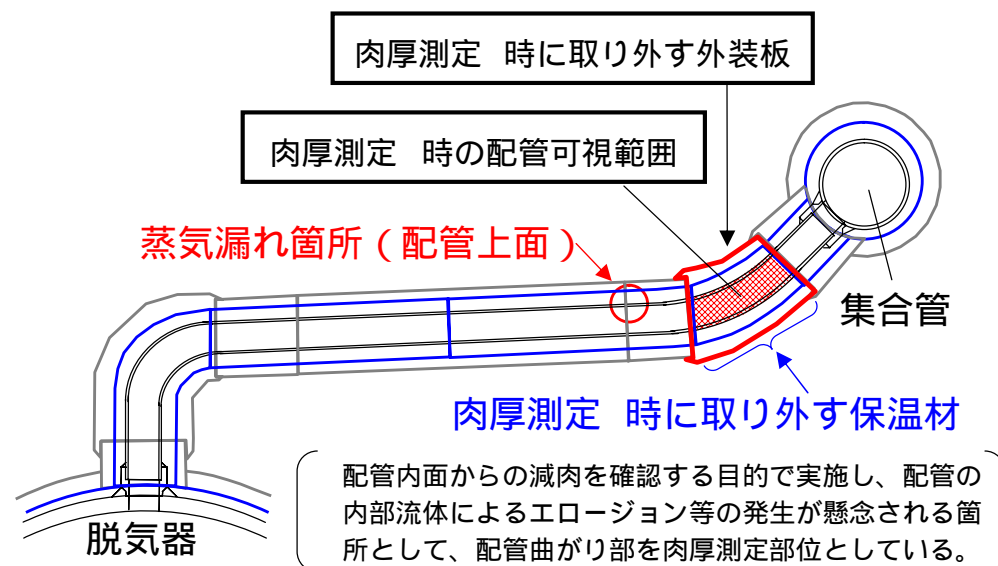


図 2 - 3 空気抜き管の肉厚測定時の可視範囲

### ( 2 ) 異音、振動、漏えい等の有無の確認

- ・ 毎日の巡視点検、月に 1 回の総合点検、各発電機出力における起動時点検において配管等の異音、振動、漏えい等の有無を確認している。
- ・ 過去のチェックシートを確認した結果、異常があるとの所見は確認されなかった。

### 3. 考 察 ( 1 / 2 ) 【腐食進展の考察】

- 配管について、保温材中に雨水等が浸入した場合、配管外面にごく僅かな錆が発生し、運転中に脱水・酸化反応により皮膜に変化する。なお、運転中は、雨水が蒸発し、湿潤環境にないため、配管外面の腐食は進展しない。長期停止中は配管外面が湿潤環境にあるため、配管外面の腐食が進展すると考えている。
- 外装板について、保温材中に雨水等が浸入した場合、運転中、停止中ともに外装板内面の底部が湿潤環境にあるため外装板の腐食が進展すると考えている。

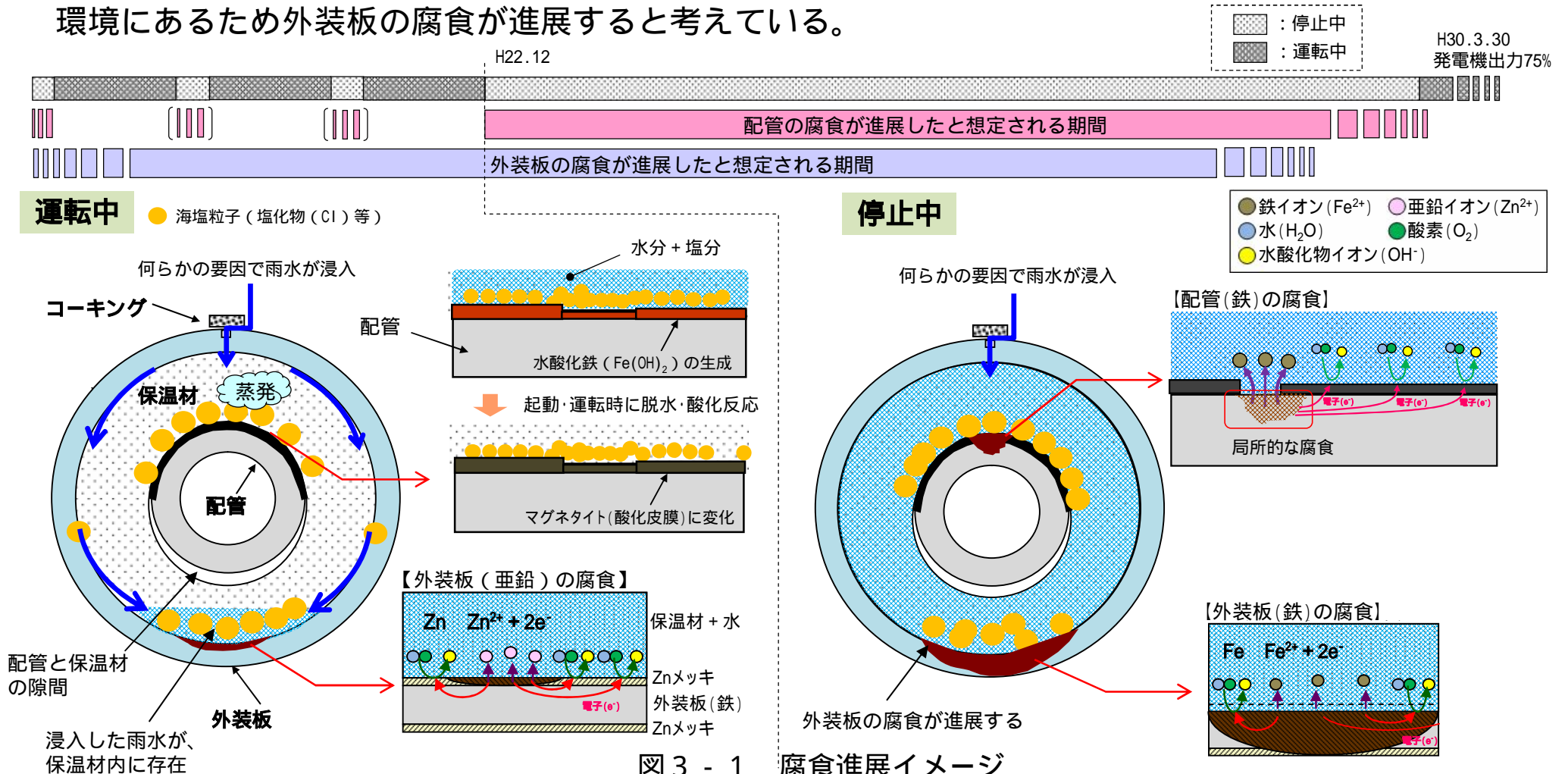


図 3 - 1 腐食進展イメージ

### 3. 考 察 ( 2 / 2 ) 【過去の点検状況に基づく考察】

- 当該管の水平部分は、外装板及び保温材を取り外しての点検はしていなかったが、第10回定期検査にて近傍の配管曲がり部の肉厚測定を実施した際、今回の漏えい箇所近傍の配管曲がり部も目視できており、その時に、近傍の配管及び外装板に異常があれば適切に対処していると考えられることから、外装板の著しい錆及び配管の腐食による明らかな凹みは、それ以降発生したものと考えられる。

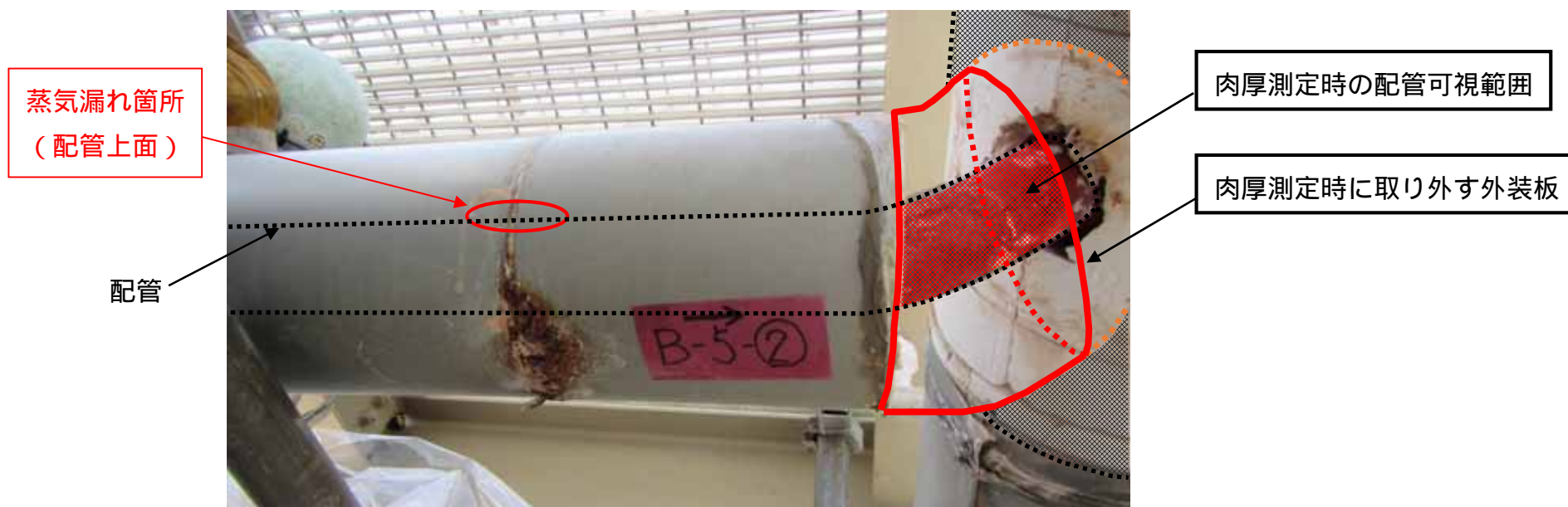


図3 - 2 空気抜き管の肉厚測定時の可視範囲

- 外装板の外表面は巡視点検等で確認しており、当該箇所の錆は認識していたものの、担当課では配管が腐食しているとは考えておらず、保温材を取り外して点検するほどの異常とは認識していなかった。

## 4 . 推定原因

- これまでの点検、調査及び考察から原因を以下のように推定した。

当該管には外装板及び保温材が施工されており、何らかの要因で外装板の隙間より雨水などが浸入し外面からの腐食が引き起こされ、さらに長期間湿潤環境となったことにより、それが進展し貫通に至ったと考えられる。

## 5. 対策(1/4)【当該管への対応】

- 貫通孔が確認された当該管1本について、配管、外装板及び保温材の取り替えを実施した。  
また、残りの空気抜き管15本についても、同様に取り替えを実施した。

### (取替え前の配管)

【形状】1本の配管を曲げて製作したものを設置。

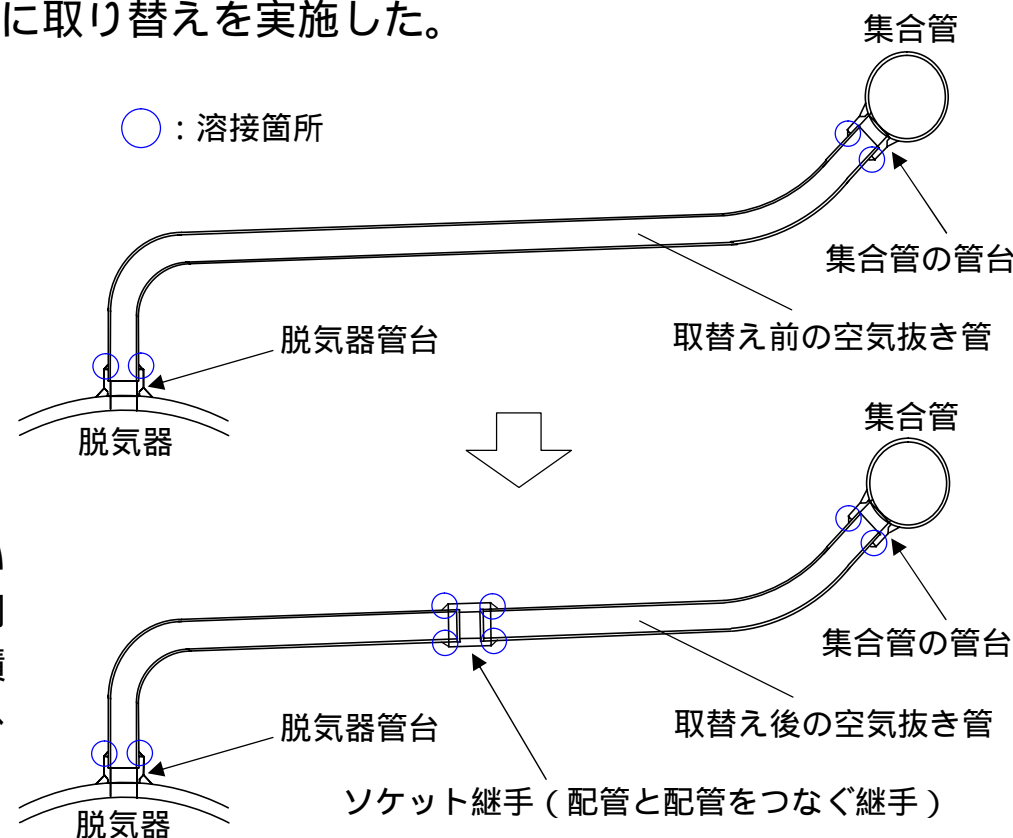
【材質】炭素鋼 STPG38 (建設時～)

### (取替え後の配管)

【形状】脱気器及び集合管はサポートで支持され容易に動かさないことから施工性を向上させるためソケット継手を追加した。

【材質】炭素鋼 STPT370

(配管の肉厚測定結果から内面に減肉が発生しにくい部位と判断できること等から、取替え前の配管と同等の炭素鋼とした。炭素鋼は、これまでの使用実績もあり、適切に雨水の浸入対策などを行うことで外面からの腐食は防げるものであり問題ない。)



### (参考) 他プラントの脱気器空気抜き管の状況

プラント	材質(現状)	取替実績	備考
玄海1号機	炭素鋼 STPT370	H17年(第23回定検)取替	脱気器廻りの配管工事の一環として取替えを実施。原設計と同等の材料で復旧を実施。
玄海2号機	炭素鋼 STPT370	H19年(第20回定検)取替	
玄海4号機	炭素鋼 STPG370	取替実績なし	
川内1号機	ステンレス鋼 SUS304TP	H11年(第12回定検)取替	配管曲がり部の肉厚測定において、内面に若干の減肉が認められたことから、肉厚管理が不要なステンレス鋼に取り替えた。
川内2号機	ステンレス鋼 SUS304TP	H6年(第7回定検)取替	

## 5 . 対 策 ( 2 / 4 ) 【今回の事象を踏まえた新たな取組み】

### ( 1 ) 教 育

- 今回の経験を踏まえ、発電所員に対して、点検・巡視時における意識向上のための教育を直ちに実施した。

- ・ 異常のないことを当たり前と思わず、異常は常に存在し得るものとの意識を常に持つ。
- ・ 僅かな変化でも、その先には機器の故障が潜んでいるとの認識を常に持つ。
- ・ 異常の兆候を発見した際には、組織内での活発な報告・共有を行う。

今後も繰り返し教育を実施することで、継続的に意識向上を図る。

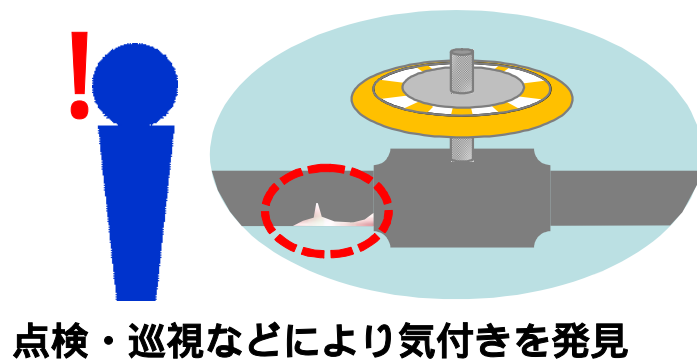
## 5 . 対 策 ( 3 / 4 ) 【今回の事象を踏まえた新たな取組み】

### ( 2 ) 点検・保守

- 屋内及び屋外に設置されている蒸気系統の配管に対し、外装板下面に著しい錆がないことを確認した。
- さらに、設備全体に対し、機器、配管、外装板及び保温材の変形、錆などの腐食、めくれ、ゆるみ等の異常の兆候を観点とした確認を行い、問題がないことを確認した。
- 今後、屋外の外装板及び保温材について、使用環境を考慮した取替計画を策定する。  
また、外装板及び保温材が施工されている屋外配管については、計画的な点検計画を策定し、順次実施する。
- なお、取り外した当該管に関する知見を有効活用するため、今回の点検及び調査とは別に、今後当該管の断面観察も行う。

## 5. 対策(4/4)【今回の事象を踏まえた新たな取組み】

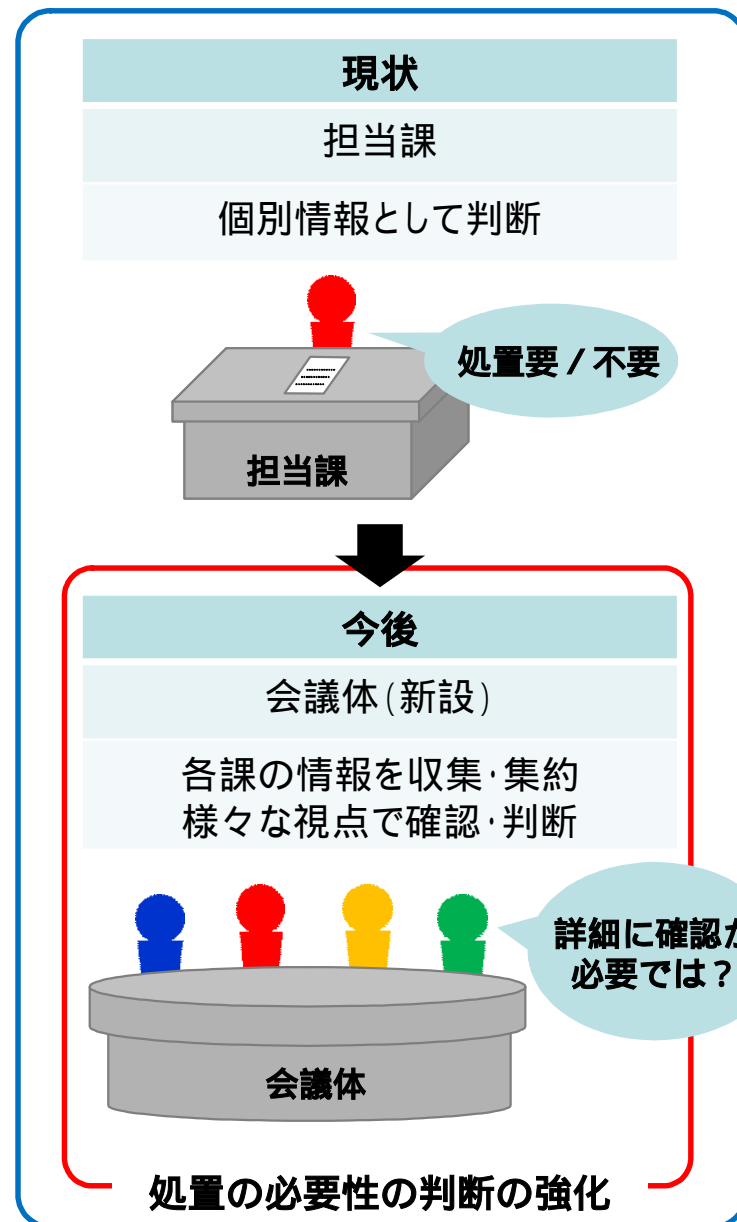
### (3) 共有する仕組みの構築



#### 点検・巡視時における意識向上のための教育の内容を明文化

- ・ 異常のないことを当たり前と思わない。
- ・ 僅かな変化でもその先に故障が潜んでいることを常に認識。
- ・ 異常の兆候は報告・共有。

#### 気づきの強化





## 6 . 玄海 4 号機への対応

今回の事象を踏まえ、玄海 4 号機についても玄海 3 号機と同様の対策を実施する。

- 脱気器空気抜き管 16 本の外装板については、特に問題ない。  
念のため、脱気器の空気抜き管 16 本について、外装板、保温材及び配管の取り替えを実施する。
- また、3 号機と同様に、屋内及び屋外に設置されている蒸気系統の配管に対する外装板下面に著しい錆がないことの確認及び設備全体に対する異常の兆候を観点とした確認を行う。
- 今後、屋外の外装板及び保温材について、使用環境を考慮した取替計画を策定するとともに、外装板及び保温材が施工されている屋外配管については、計画的な点検計画を策定し、順次実施する。
- なお、発電所員に対する点検・巡視時における意識向上のための教育や、巡視点検や業務における軽微な気づき事項も共有する仕組みの構築については、3 号機との共通の対策として取り組む。

補 足

## 補足 1 . 脱気器空気抜き管からの蒸気漏れに伴う安全確認 ( 1 / 2 )

- 今回の蒸気漏れ事象を踏まえ、屋内に設置している安全上重要な設備から、今回の事象が発生した重要度の低い屋外設備も含めた設備全体に対して安全性の確認を実施。

### ( 1 ) 蒸気漏れを踏まえた確認 ( 平成30年4月1日 ~ 4月4日 )

蒸気漏れが発生する可能性がある屋内外の蒸気系統設備を対象に安全確認を実施した。

#### 【確認のポイント】

保温材外装板下面について著しい錆の有無を確認し、著しい錆がある場合には、発生源を確認のうえ、問題がないことを確認する。

#### 【対象設備】

##### ( 屋内 )

タービン、蒸気発生器、主蒸気配管、抽気配管、給水加熱器、湿分分離加熱器、スチームコンバータ、補助蒸気配管

##### ( 屋外 )

脱気器、補助ボイラ、補給水処理装置、湿分分離加熱器逃し弁

#### 【確認結果】

確認のポイントを踏まえた安全確認の結果、異常は認められなかった。

なお、一部の屋外の外装板に軽微な錆が確認されたが、容易に除去できた外側からの錆であることから問題はなく、念のため手入れ ( 錆の除去 ) のうえ塗装を実施。

## 補足 1 . 脱気器空気抜き管からの蒸気漏れに伴う安全確認 ( 2 / 2 )

( 2 ) 長期停止に伴い発生すると考えられる異常の兆候を踏まえた確認 ( 平成30年4月4日 ~ 4月8日 )  
3号機に係る全ての設備を対象に安全確認を実施した。

### 【確認のポイント】

長期停止に伴い発生すると考えられる異常の兆候を見逃すことがないよう、想像を働かせ確認を実施する。

### 【本体設備】

- ・ 1次系設備 ( ポンプ、圧縮機、配管、容器、熱交換器、弁 等 )
- ・ 2次系設備 ( タービン、ポンプ、圧縮機、配管、容器 等 )
- ・ 電気設備 ( メタクラ、パワーセンタ、変圧器、発電機 等 )
- ・ 制御設備 ( 盤、計測器、地震計、放射線監視装置 等 )

### 【その他設備】

廃棄物処理建屋、雑固体溶融処理建屋、雑固体焼却炉建屋、固体廃棄物貯蔵庫、補助ボイラ、  
周辺放射線監視装置、補給水処理装置 等

### 【確認結果】

確認のポイントを踏まえた安全確認の結果、異常は認められなかった。

( 3 ) まとめ

蒸気漏れが発生する可能性がある屋内外の蒸気系統設備、及び3号機に係る全ての設備に対して、安全確認を実施した結果、安全性に影響するような異常は確認されなかった。

## 補足2 . 外装板・保温材の取替え、配管点検の方針（1 / 3）

- 「脱気器空気抜き管からの蒸気漏れに伴う安全確認」で、屋内及び屋外に設置されている蒸気系統の配管に対し、外装板下面に著しい錆がないことを確認した。  
さらに、設備全体に対し、機器、配管、外装板及び保温材の変形、錆などの腐食、めくれ、ゆるみ等の異常の兆候を観点とした確認を行い、問題がないことを確認した。
- 今回の事象は、何らかの要因で雨水などが保温材内部に浸入し、長期間湿潤環境になったことで外面からの腐食に至った可能性があると考えられることから、新たな取り組みとして以下の対策を実施する。
  - ・ 屋外の外装板及び保温材について、使用環境や保全の重要度に応じた取替計画を策定する。
  - ・ 外装板及び保温材が施工されている屋外配管については、計画的な点検計画を策定する。

## 補足2．外装板・保温材の取替え、配管点検の方針（2 / 3）

- 外装板・保温材の取替え、配管点検の実施にあたっては、以下の方針で取替計画を定め、優先順位に応じて取り替えを実施する。  
なお、配管については、外装板・保温材の取替え時にあわせて実施するよう点検計画を策定する。

### （1）外装板・保温材の取替方針

今回の事象を踏まえ、使用環境による腐食の発生しやすさと、対象配管の安全重要度から設定した保全重要度の両面を考慮し、取替計画を策定する。

#### （使用環境の観点）

- ・ 風雨（海塩粒子）の影響を、直接上から受ける環境にある設備 【最優先】  
（例：脱気器周りの保温材等）
- ・ 海水の影響を受ける環境にある設備 【優先】  
（例：取水ピットエリアの保温材等）
- ・ 風雨（海塩粒子）の影響を、直接上から受けませんが、湿潤環境にある設備  
（例：トレンチ内の保温材等）

#### （保全重要度の考慮）

- ・ 保全重要度高（安全重要度クラス1,2\*）の設備 【優先】  
（例：海水ポンプ周り等）
- ・ 安全重要度クラス3\*の設備  
（例：循環水ポンプ周り等）

\* 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」を踏まえ、安全機能を重要度付けしている。

クラス1：合理的に達成し得る最高度の信頼性を確保  
クラス2：高度の信頼性を確保  
クラス3：一般の産業施設と同等以上の信頼性を確保

### （2）配管の点検方針

外装板・保温材の取替え時にあわせて実施するよう点検計画を策定する。

## 補足2 . 外装板・保温材の取替え、配管点検の方針（3 / 3）

表 取替え及び点検の優先度設定の考え方（案）

		配 管	
		保全重要度高 （安全重要度クラス1,2を含む）	安全重要度クラス3
外装板・保温材	風雨（海塩粒子）の影響を、直接上から受ける環境にある設備	優先度（高）	優先度（高）
	海水の影響を受ける環境にある設備	優先度（高）	優先度（低）
	風雨（海塩粒子）の影響を、直接上から受けないが、湿潤環境にある設備	優先度（低）	優先度（低）

優先度（高）となる対象設備は、次回定期検査から外装板及び保温材の取替え並びに配管の点検を開始する計画を策定する。

優先度（低）となる対象設備は、優先度（高）の設備に引き続き外装板及び保温材の取替え並びに配管の点検を開始する計画を策定する。

取替え及び点検の頻度は、取替え時の状況や点検結果を踏まえ計画の見直しを行う。

## 補足3 . 点検のやり方の評価・改善 ( 1 / 3 )

### 現状の点検

発電所設備の点検は、保全対象範囲（発電所全体）に対して、安全重要度の高さにより保全重要度を設定して、その重要度に応じた点検内容、点検周期を定め、定期的に点検を実施している。**（安全重要度の高い設備に重点を置いた点検を実施していた。）**  
その点検には、定期検査時の分解点検、非破壊試験、機能・性能確認等、日常時の目視点検等がある。  
さらに、長期停止期間中の各設備の使用状況等を踏まえた、保管対策、追加点検、健全性確認を実施している。

### 脱気器空気抜き管の点検

脱気器空気抜き管の水平部分については、2次系設備で、放射性物質を含まない安全重要度が低い設備であることから、保全の重要度を低く設定し、保温材内部の配管点検計画を策定していなかった。  
また、長期停止期間中の「特別な保全計画」においても、脱気器本体内部の保管対策は行なっていたが、保温材内部の配管点検は計画していなかった。**（長期間湿潤環境で外面腐食が起こる認識が無かった。）**

### 今回実施する対策

脱気器空気抜き管、保温材及び外装板の取替  
（3,4号機各16本）  
保温材取替計画、保温材施工配管の保温材を外しての点検計画を策定する。  
設備全体に対して異常の兆候を観点とした確認  
日常時、プラント起動時の目視点検の確認の視点の追加  
目視点検で発見した軽微な事象の処置方法の決定を発電所に設置する会議体で判断する仕組みの構築

### 保全の有効性評価の実施

社内規定に基づき、今回の事象を踏まえた保全の有効性評価を実施する。

（詳細は次頁）



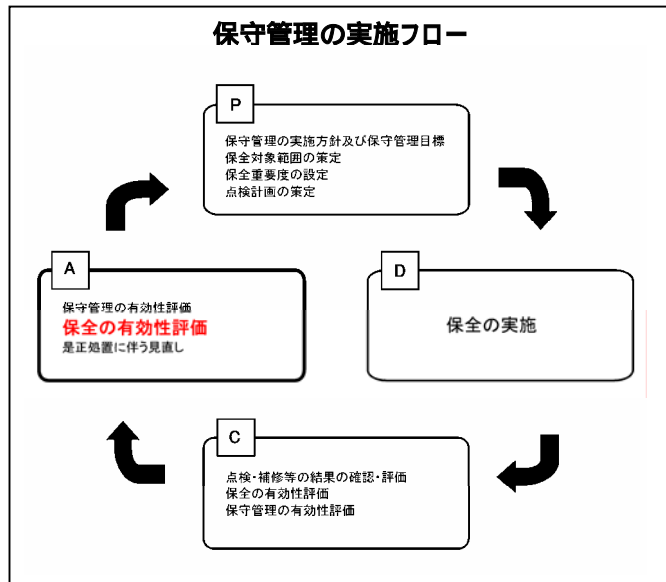
## 補足3 . 点検のやり方の評価・改善 ( 2 / 3 )

### 今回の事象発生を踏まえた保全の有効性評価

保全の内容については、社内規定に基づき定期的に評価を行い、PDCAをまわすことにより、改善を図る仕組みを構築している。  
( 定期的な評価：定期検査開始の約4ヶ月前 )  
今回の事象を踏まえ定期的な評価を待たず速やかにこれまでの保全の有効性を評価する。

### 保全の有効性評価のインプット

- ・安全上の重要度の低い設備の故障で発電停止に至った事象である。
- ・長期停止中に屋外配管の外表面腐食が進展した事象である。
- ・保温材の外装板の錆を見て配管保温材を取り外して点検するほどの異常とは気付けなかった事象である。



### 保全の有効性評価のアウトプットイメージ

今回の事象を踏まえた評価を実施して、以下の保全の見直しを実施する評価となる見込み。

2次系設備であっても、「その故障により発電停止となる設備」については、保全重要度を高くする。  
長期停止中の保全を定める「特別な保全計画」の策定ルールを定めている社内規定の見直しを行なう。  
目視点検にて使用するチェックシートの見直しを行う。

### 保全の変更イメージ

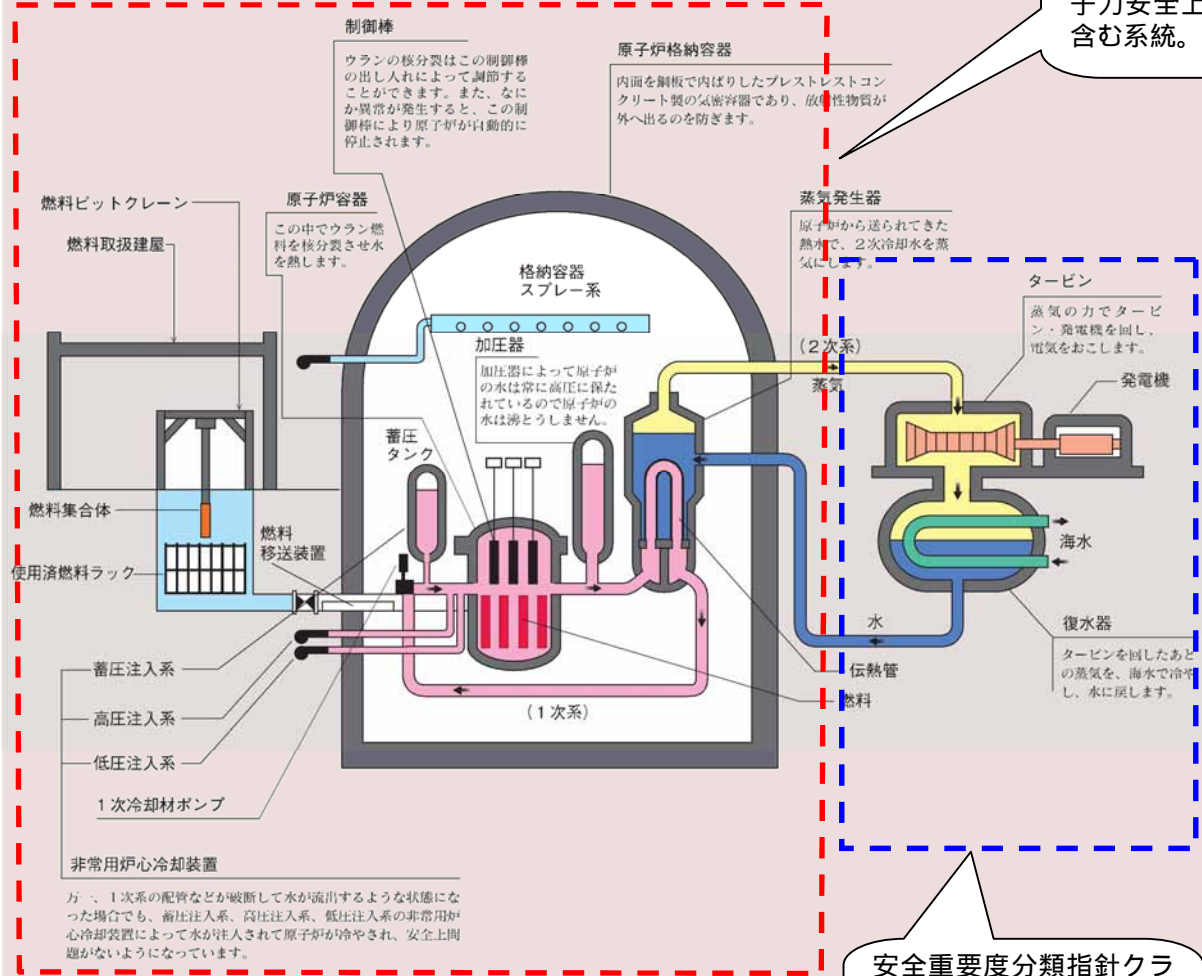
保全重要度を高くすることにより、2次系設備であっても、その故障により発電停止となる設備について、点検計画を策定する。

#### 【具体的な変更】

保温材施工配管の保温材を取り外して配管外面を点検する計画を策定する。  
定期検査申請書に添付する保全計画に記載を追加する。

# 補足3 . 点検のやり方の評価・改善 ( 3 / 3 )

加圧水型原子力発電所の系統図



安全重要度分類指針クラスの高い(クラス1,2\*)原子力安全上重要な設備を含む系統。

\* 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」を踏まえ、安全機能を重要度付けしている。

クラス1：合理的に達成し得る最高度の信頼度を確保  
 クラス2：高度の信頼性を確保  
 クラス3：一般の産業施設と同等以上の信頼性を確保

脱気器などの2次系設備はクラス3の重要度である。

安全重要度分類指針クラスの低い(クラス3\*)原子力安全上の重要度が低い設備の系統。

見直し  
➡

安全上重要度は低いが、その故障により発電停止となる設備について、保全の重要度を「高」とする。

## 補足4 . 腐食進展の考察

### 【概要】

- 類似する事象の腐食進展に関して文献調査し、腐食深さが肉厚に達して貫通に至る時間を考察した。

### 【結果】

- 配管が貫通に至る時間は、配管肉厚が約3.9mmであり、文献の腐食速度<sup>1</sup>から試算すると、約4.3年となる。
- 外装板が貫通に至る時間は、外装板肉厚が約0.3mmであり、文献の腐食速度<sup>2</sup>から試算すると、約3年となる。

(計算条件)

1:配管の腐食速度を約0.9mm/年と仮定。(出典:NACE SP0198-2010 Control of CUI and Fireproofing Materials - A System Approach)

2:外装板(亜鉛めっき)の腐食速度を約0.1mm/年と仮定。(出典:腐食・防食ハンドブック,腐食防食協会編)

2:外装板(鋼板)の腐食速度を一般的な腐食速度約0.1mm/年と仮定。(出典:腐食防食協会編:防食技術便覧,日刊工業新聞社,p.199,(1986))

- 試算によると、貫通に至るまでの時間は配管より外装板の方が短いこと、かつ、プラント運転中も外装板内面の底部は湿潤環境にあり、外装板の腐食が進展することから、配管よりも外装板の方が先に貫通に至ると推定される。