

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 3 0 年 4 月

九州電力株式会社

1. 事象発生の日時

平成30年 3月30日 19時頃

2. 事象発生の場所

玄海原子力発電所 3号機

3. 事象発生の状況

玄海原子力発電所3号機は、平成30年3月25日に発電を再開し、発電機出力75%で調整運転を行っていたところ、3月30日19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75%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。

(添付資料 - 1 ~ 13)

(時系列)

3月25日	14:29	発電機並列
3月26日	0:35	発電機出力30%到達
3月27日	17:00	発電機出力50%到達
3月30日	19:00	発電機出力75%到達
3月30日	19:00頃	脱気器配管付近で微少な蒸気漏れを確認
3月30日	20:30頃	系統内からの微少な蒸気漏れと判断
3月31日	1:00	75%出力からの負荷降下開始
3月31日	6:02	発電機解列
3月31日	9:00	点検準備開始
4月 1日	14:20	点検開始
4月 9日	22:00	点検終了

4 . 点検及び調査の結果

3 B脱気器の第5空気抜き管（以下「当該管」という。）から微少な蒸気漏れを確認したため、3 A及び3 B脱気器のすべての空気抜き管（各8本の合計16本）の点検を以下のとおり実施した。

また、当該管の過去の点検実績の調査を実施した。

（添付資料 - 1 ~ 3）

（1）空気抜き管の外装板及び保温材の点検

a . 外装板

3 A及び3 B脱気器のすべての空気抜き管の外装板について、状況確認を実施した。結果は以下のとおり。

【当該管】

当該管の外装板下面の一部に著しい錆が確認された。

【当該管以外の空気抜き管】

当該管以外の空気抜き管の外装板については、著しい錆は確認されなかった。

b . 保温材

3 A及び3 B脱気器のすべての空気抜き管の保温材について、状況確認を実施した。結果は以下のとおり。

【当該管】

当該管の保温材と配管との接触部に、変色や錆のような付着物が確認された。

【当該管以外の空気抜き管】

当該管以外の空気抜き管の保温材については、変色や錆のような付着物は確認されなかった。

（添付資料 - 4 , 5）

（2）空気抜き管の点検

a . 外面点検

3 A及び3 B脱気器のすべての空気抜き管について、状況確認を実施した。結果は以下のとおり。

【当該管】

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箇所に貫通孔（長さ13mm×幅6mm程度）が確認された。貫通孔近傍の配管は、外面から内面に向い段々に凹んでいた。

なお、水平部分以外については、腐食による明らかな凹みは確認されなかった。

【当該管以外の空気抜き管】

当該管以外の空気抜き管については、腐食による明らかな凹みは確認されなかった。

b . 内面点検

3 A及び3 B脱気器のすべての空気抜き管を取り外し後、内部にファイバースコープを挿入し、管内面の状況確認を実施した。結果は以下のとおり。

【当該管】

当該管の水平部分の上面に貫通孔を確認した。なお、外面点検で確認したような、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。

【当該管以外の空気抜き管】

当該管以外の空気抜き管については、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。

(添付資料 - 4 , 6)

(3) 当該管の過去の点検実績の調査

a . 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。

なお、当該管の漏えい箇所近傍の曲がり部については、第10回定期検査(平成18年12月より平成19年3月まで)において、配管内面からの減肉を確認する目的で、曲がり部の外装板及び保温材を取り外して肉厚測定を実施していたが、その際に、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。

b . 巡視点検

毎日の巡視点検では、チェックシートを用いて、配管等について異音、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、当該管に係る異常があるとの所見は確認されなかった。

c . 総合点検

月に1回の総合点検では、チェックシートを用いて、配管等について異音、振動、漏えい、保温の損傷等の有無を確認しており、過去のチェックシートを確認した結果、当該管に係る異常があるとの所見は確認されなかった。

d . 起動時点検

発電機出力5%、30%、50%、75%及び定格熱出力一定運転時の点検では、チェックシートを用いて、配管等について異音、振動、漏えい等の有無を確認している。発電機出力5%、30%、50%時のチェックシートを確認した結果、当該管に係る異常があるとの所見は確認されなかった。

5. 点検及び調査結果のまとめ

- ・ 当該管の外装板下面の一部に著しい錆があった。
- ・ 当該管の水平部分の上面の一部に貫通孔があり、貫通孔近傍の配管表面に、腐食による明らかな凹みがあった。なお、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。
- ・ 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。

6. 考 察

- ・ 当該管は炭素鋼であり、外装板で覆われている。当該部近傍は蒸気漏えいが起こった後の確認であることから雨水浸入経路の特定はできなかったが、曲がり部の外装板の長手方向の真上の継ぎ目部と周方向の継ぎ目部などから雨水などが保温材内部に浸入し配管の上面が長期間湿潤環境になったことで、配管外面からの腐食に至った可能性がある。

(添付資料 - 3 , 7 , 8 , 9)

- ・ 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、近傍の曲がり部について保温材を取り外して定期的に配管曲がり部の肉厚測定を実施している。第10回定期検査において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。

(添付資料 - 10)

- ・ 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までは考えておらず、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。

7. 推定原因

当該管には外装板及び保温材が施工されており、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。

8. 対 策

(1) 当該管への対応

貫通孔が確認された当該管1本、外装板及び保温材の取り替えを実施した。

また、当該管以外の空気抜き管15本についても、外装板及び保温材の取り替えを実施するとともに、念のため、空気抜き管の取り替えも実施した。

(2) 今回の事象を踏まえた新たな取組み

a. 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意識継続を図る。

b. 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、点検計画を策定し、順次実施する。なお、外装板及び保温材の取替施工時においては、継ぎ目部のコーキング処置を十分に行うことにより雨水浸入を防止する。

現時点における取り替え及び点検の計画は以下のとおりである。

- ・ これまでは、通常とは異なる状態が認められた場合等、都度行なっていたが、今後は、基本的な点検周期を4定検毎とし、点検の状況を踏まえ周期を短くする必要がある場合は、点検周期を見直す。
- ・ 次回定期検査において、脱気器空気抜き管、脱気器連絡蒸気管、主復水管等の外装板及び保温材の取り替え並びに配管の点検を実施する。

(添付資料 - 11)

c . 経年的な変化の把握

設備全体に対し、経年的な変化から、異常の兆候を把握できるようにするため、作業管理要領を改正し、経過観察ができるチェックシートを用いて点検を行う。

(添付資料 - 1 2)

d . 共有する仕組みの構築

「 a . 教育 」の内容を明文化し繰り返し教育していくことで、異常を未然に防ぐ意識をもって点検・巡視などを行えるようにし、僅かな変化を気付き事項として認識できるようにする。そのようにして得た気付き事項を、発電所内に新たに設ける会議体において各課から収集・集約するとともに、過去の慣例にとらわれることなく様々な視点で確認しながら、必要な処置を判断する仕組みを構築する。

e . 更なる取組み

今後、更なる取組みとして、以下についてもしっかりと取り組む。

- ・ 当該管を含む脱気器廻りの屋外配管の範囲について、雨水浸入などに対する信頼性を向上させる観点から、ステンレス鋼への取り替えや屋根設置等に取り組んでいく。
- ・ 錆の発生や進展に対する知見を深めるとともに、その知見を計画策定に反映する。
- ・ 沿岸部であることを十分に考慮し、外装板のメッキ方法や配管の防錆塗装の知見を収集する。
- ・ 外装板の取付け方法の最適化について検討する。
- ・ 覆われて見えない設備に対する非破壊検査方法の知見の収集・活用を行う。
- ・ 取り外した当該管に関する知見を有効活用するため、当該管の断面観察を行う。

9 . 4号機への対応

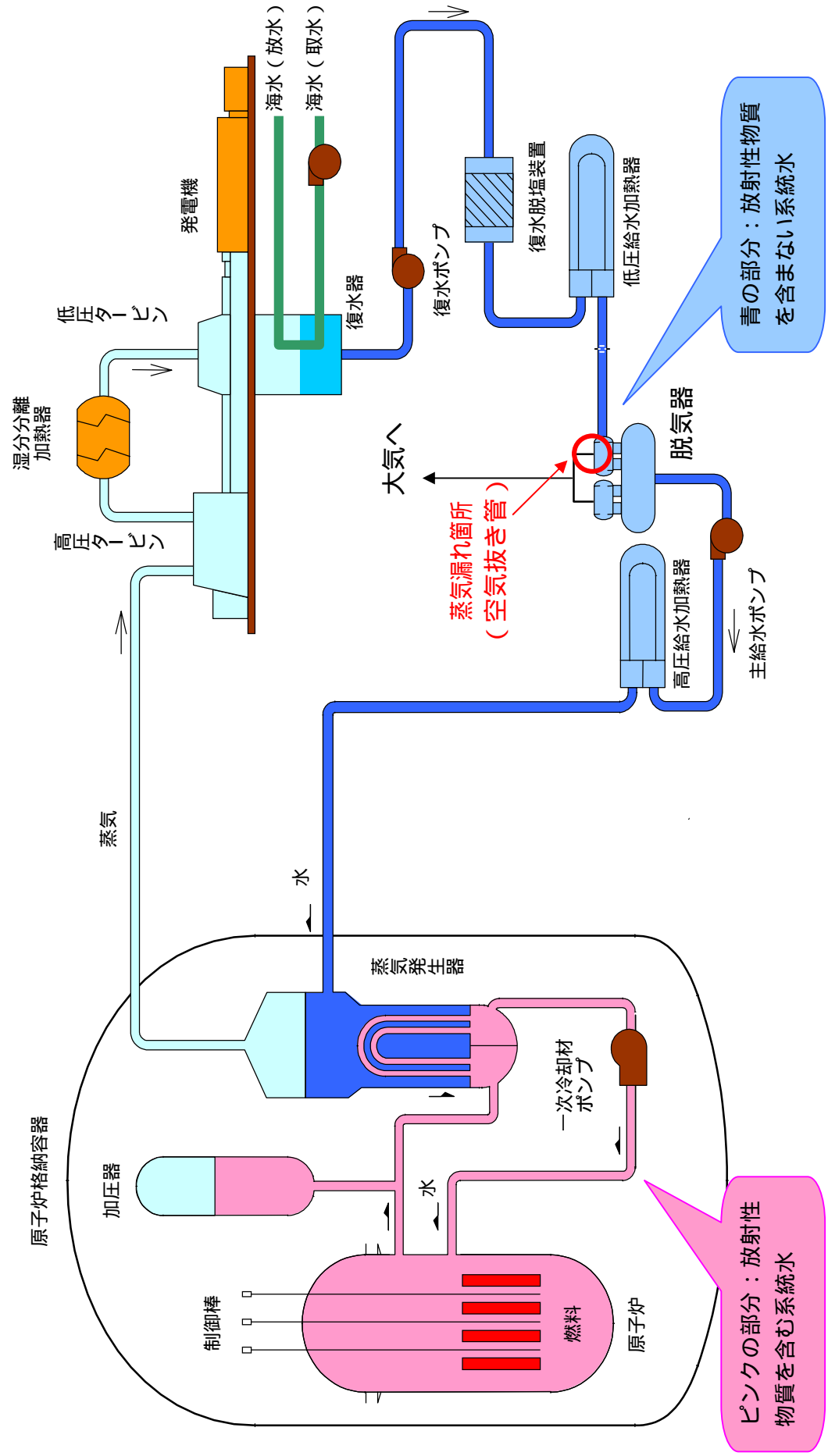
4号機についても、3号機と同様の取組みを実施する。

以 上

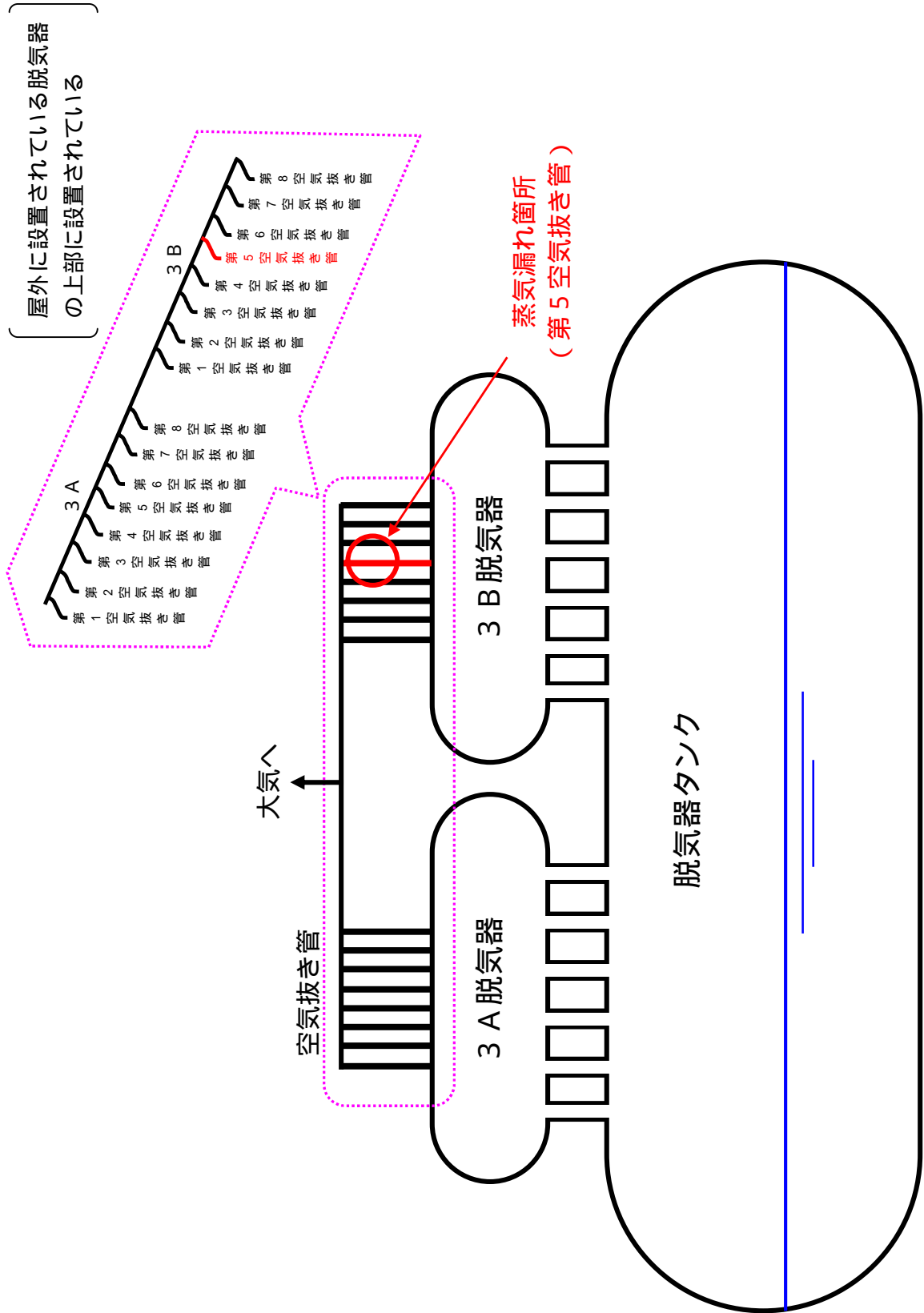
添付資料目次

- 1．概略系統図
- 2．脱気器概要図
- 3．脱気器主要仕様
- 4．空気抜き管の外装板、保温材及び配管撮影箇所
- 5．空気抜き管の外装板及び保温材の点検
- 6．空気抜き管の点検
- 7．空気抜き管外装板内への浸入箇所の考察
- 8．空気抜き管の外表面腐食進展の考察
- 9．空気抜き管に施工する外装板の腐食進展の考察
- 10．空気抜き管の肉厚測定時の配管可視範囲
- 11．屋外配管の点検計画（サンプル）
- 12．総合点検チェックシート変更案
- 13．3号機 脱気器空気抜き管点検工程

概略系統図



脱気器概要図



脱気器主要仕様

1. 主要仕様

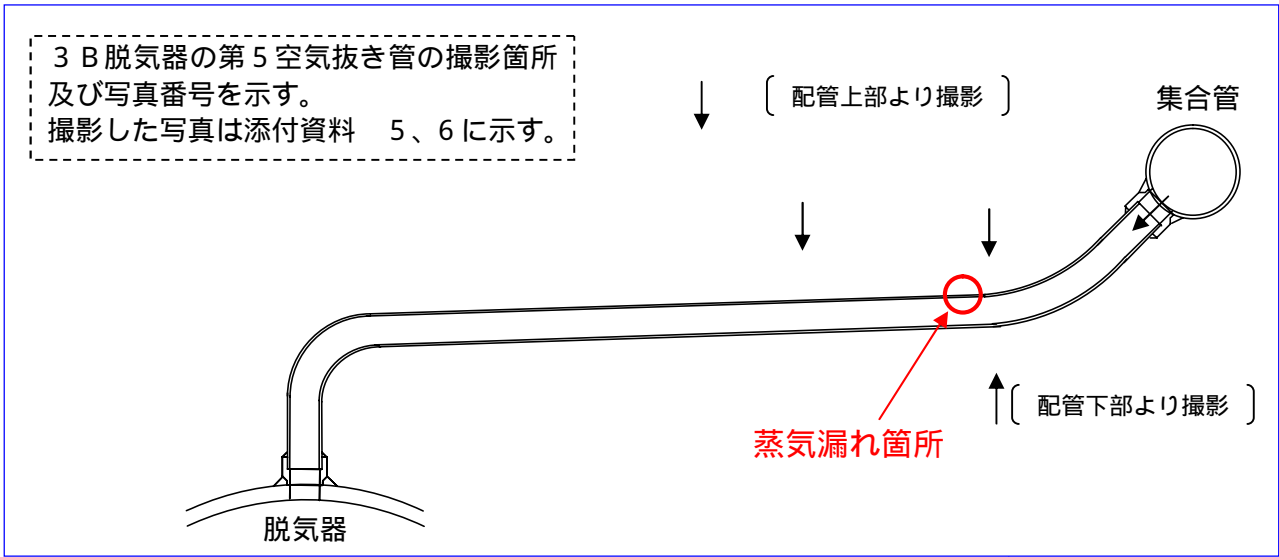
主要項目		
名称	脱気器	脱気器タンク
型式	横置スプレイトレイ形	横置円筒形
基数	2	1
最高使用圧力	1.37MPa	1.37MPa
最高使用温度	200	200
貯水容量 (正常水位時)		600m ³
胴内径	3,000mm	4,700mm
胴厚さ	23mm	34mm
鏡板厚さ	25mm	36mm
全長	19,980mm	43,570mm

主要材料		
名称	脱気器	脱気器タンク
胴	SB46	SB46
鏡板	SB46	SB46
トレイ	SUS304	

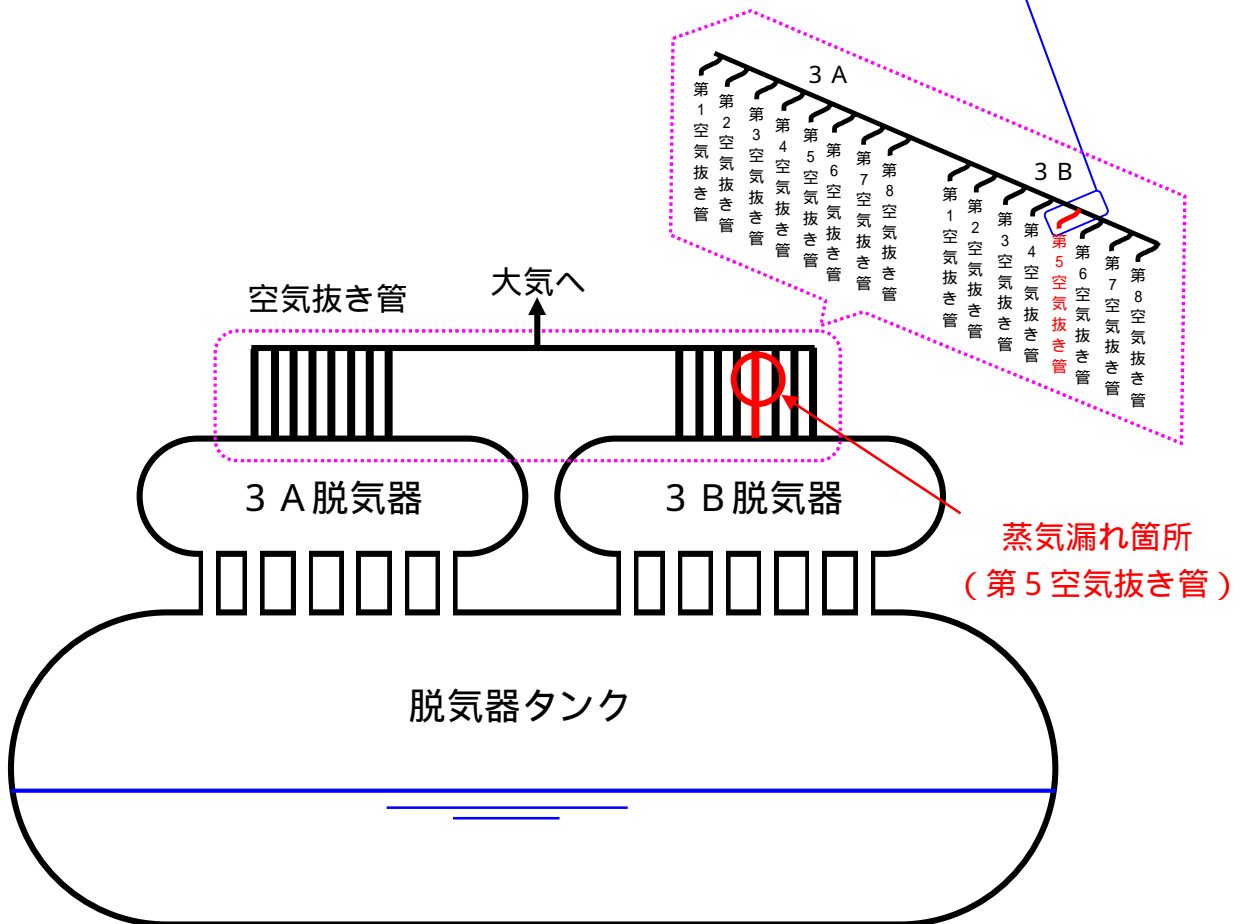
2. 当該管の仕様

名称	脱気器空気抜き管
外径 (呼び径)	60.5mm (50A)
肉厚	3.9mm
材質	STPG38 (炭素鋼)

空気抜き管の外装板、保温材及び配管撮影箇所



： 及び については、当該管以外の 3 A 脱気器の第 3 空気抜き管を撮影



空気抜き管の外装板及び保温材の点検

蒸気漏れ箇所付近【3 B脱気器の第5空気抜き管の外装板】



写真

- ・外装板下面の一部に著しい錆が確認された
- ・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した

空気抜き管の外装板及び保温材の点検

蒸気漏れ箇所付近【3 B脱気器の第5 空気抜き管の保温材外面】



- ・ 外装板を取り外した状況

蒸気漏れ箇所付近【3 B脱気器の第5 空気抜き管の保温材内面】



- ・ 茶褐色に変色している部分は貫通孔近傍の保温材と配管が接触していた箇所

空気抜き管の点検

当該管配管外面【3 B脱気器の第5 空気抜き管】



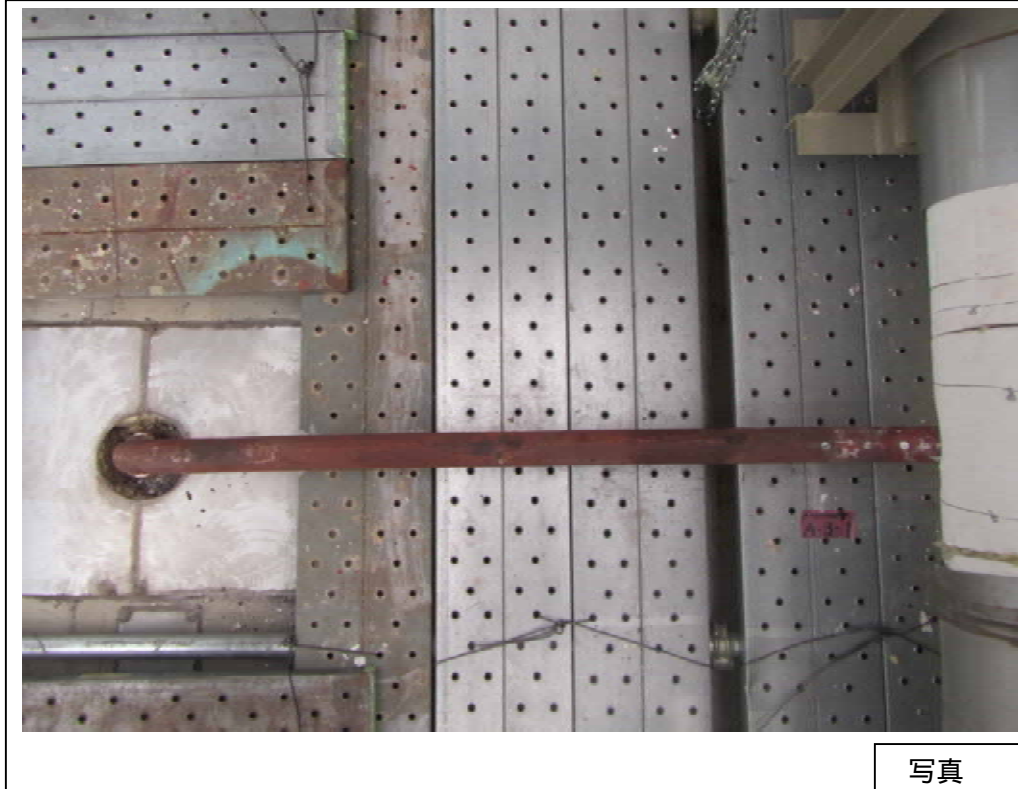
当該管の蒸気漏れ箇所付近の配管外面【3 B脱気器の第5 空気抜き管】



・貫通孔（長さ 13mm × 幅 6mm 程度）が確認された

空気抜き管の点検

当該管以外の配管外面【3 A脱気器の第3 空気抜き管】



- ・ 腐食による明らかな凹みは確認されなかった

空気抜き管の点検

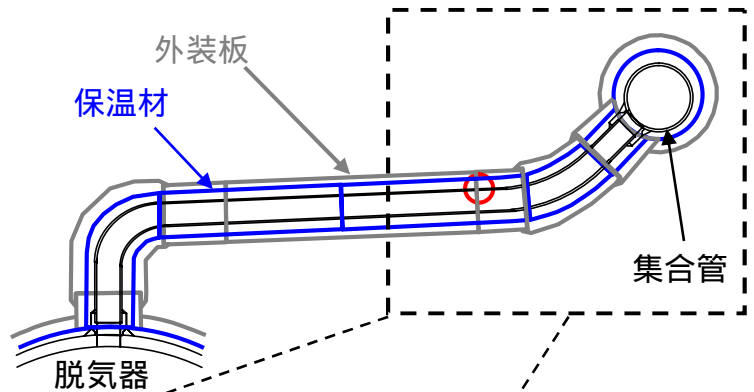
当該管配管内面【3 B脱気器の第5 空気抜き管】



- ・外面点検で確認したような、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

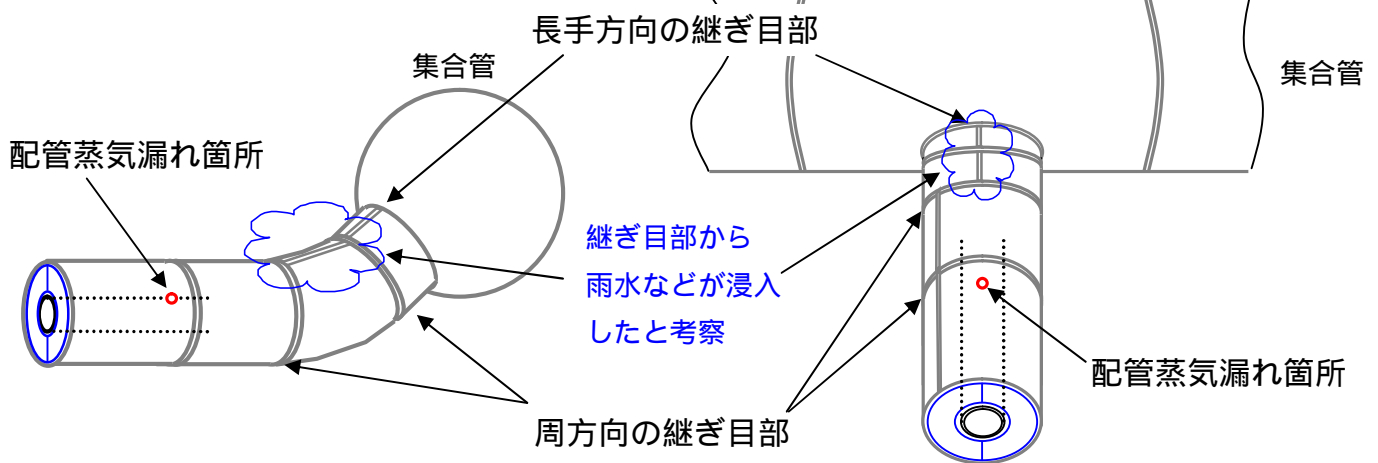
空気抜き管外装板内への浸入箇所 の 考察

当該部近傍は蒸気漏えいが起こった後の確認であることから雨水浸入箇所の特定は困難であった。曲がり部の外装板の長手方向の真上の継ぎ目部と周方向の継ぎ目部などから雨水などが保温材内部に浸入したと考察した。

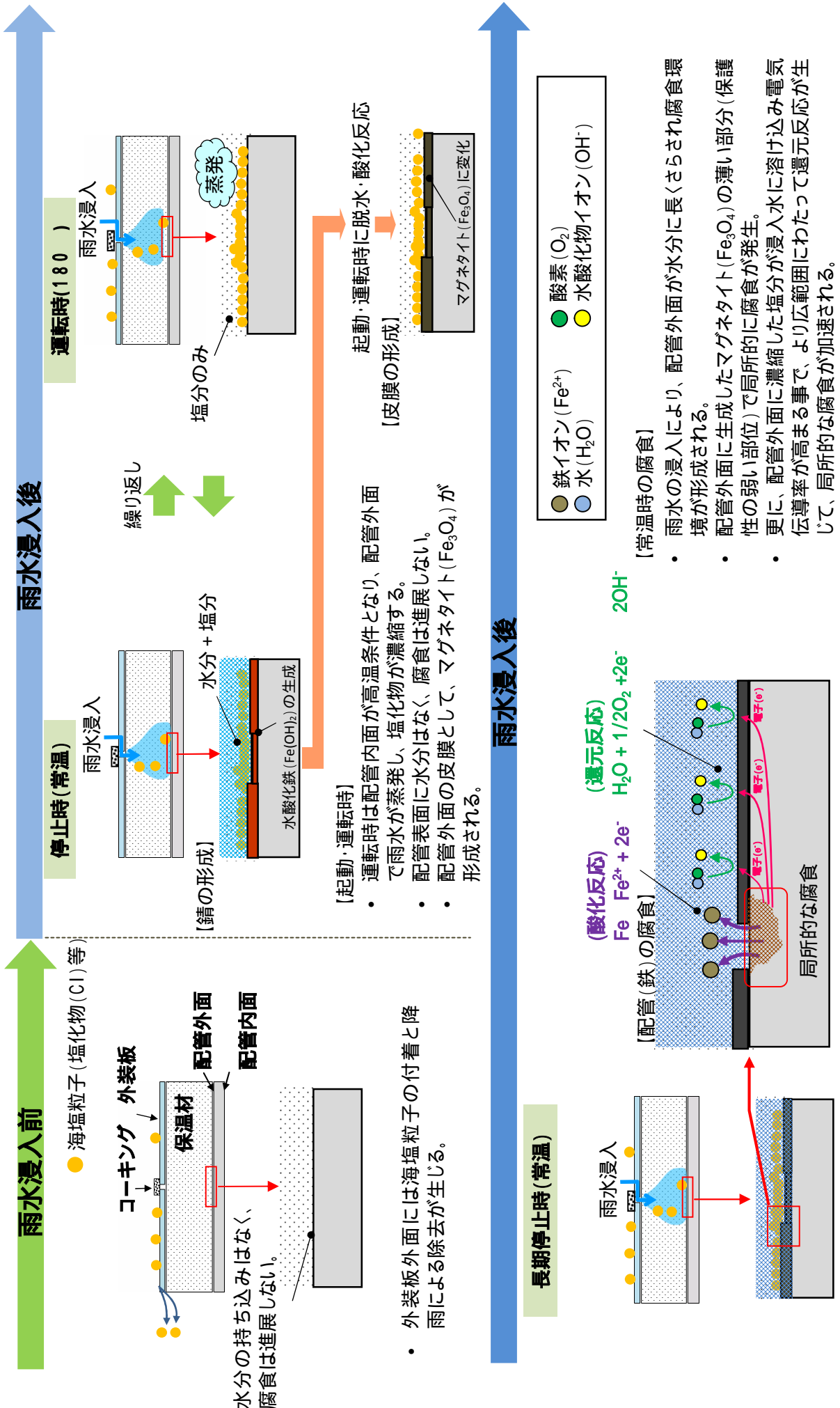


横から見た図

上から見た図



空気抜き管の外面腐食進展の考察



雨水浸入前

● 海塩粒子 (塩化物 (Cl) 等)

コーキング 外装板
保温材 配管外面
配管内面

水分の持ち込みはなく、腐食は進展しない。

- 外装板外面には海塩粒子の付着と降雨による除去が生じる。

雨水浸入後

停止時(常温) 雨水浸入

蒸発

塩分のみ

繰り返し

水分 + 塩分

水酸化鉄 (Fe(OH)₂) の生成

運転時(180) 雨水浸入

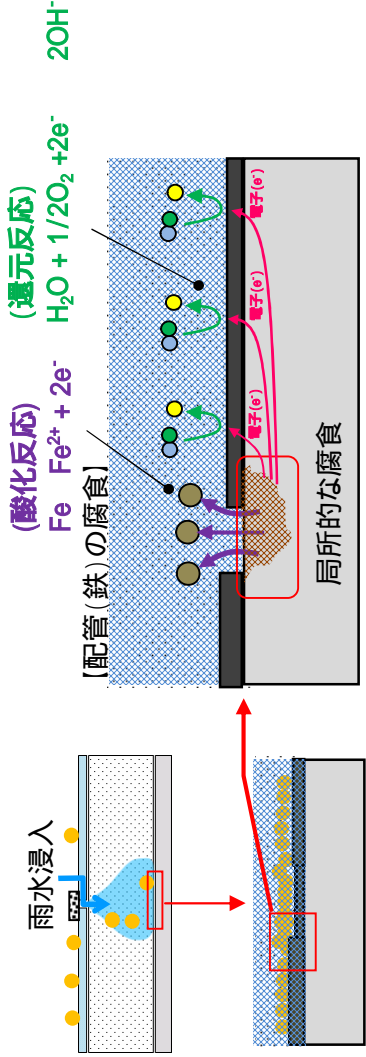
起動・運転時に脱水・酸化反応 (皮膜の形成)

マグネタイト (Fe₃O₄) に変化

- 【起動・運転時】
- 運転時は配管内面が高温条件となり、配管外面で雨水が蒸発し、塩化物が濃縮する。
 - 配管表面に水分はなく、腐食は進展しない。
 - 配管外面の皮膜として、マグネタイト (Fe₃O₄) が形成される。

雨水浸入後

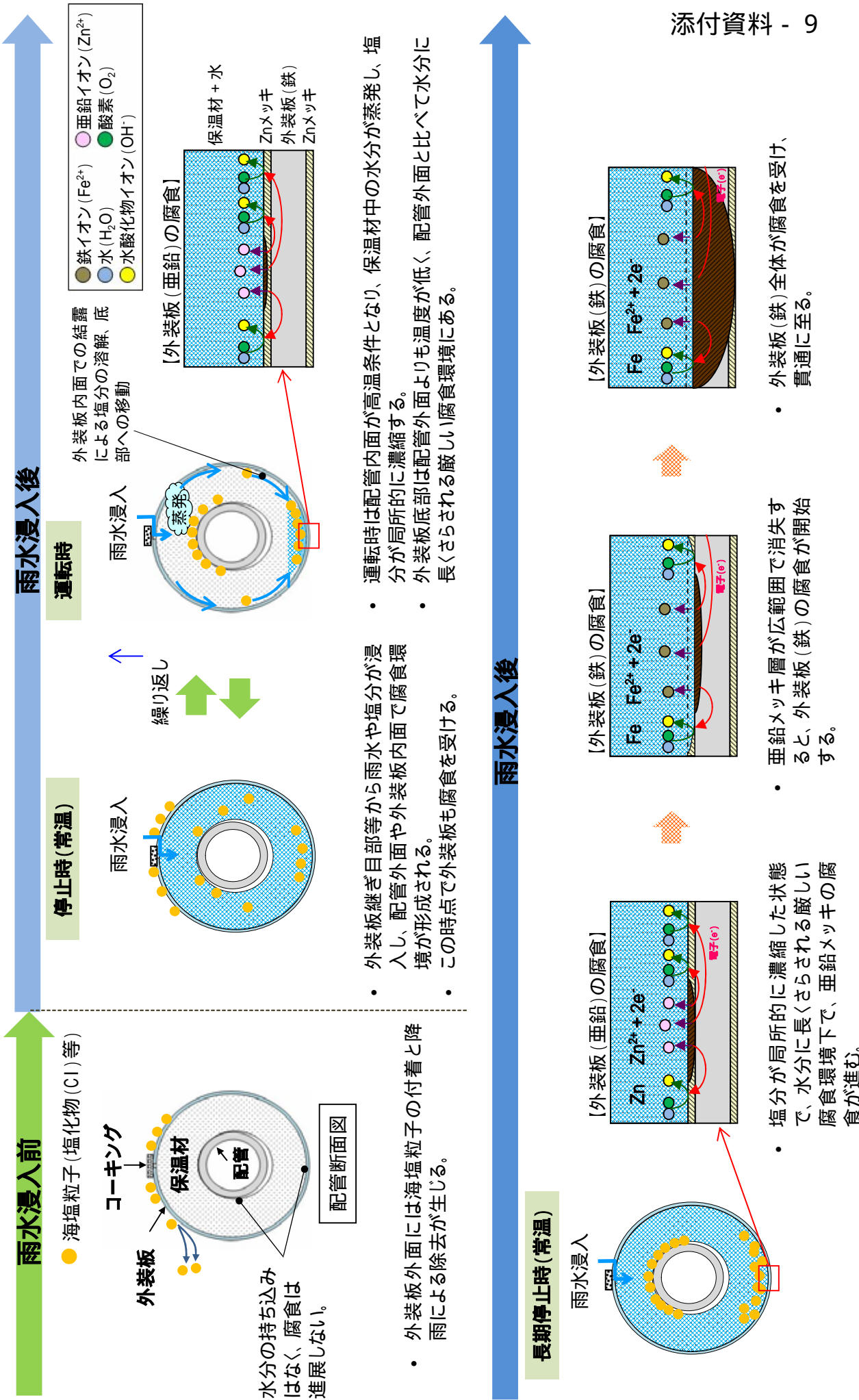
長期停止時(常温)



- 鉄イオン (Fe²⁺)
- 酸素 (O₂)
- 水 (H₂O)
- 水酸化物イオン (OH⁻)

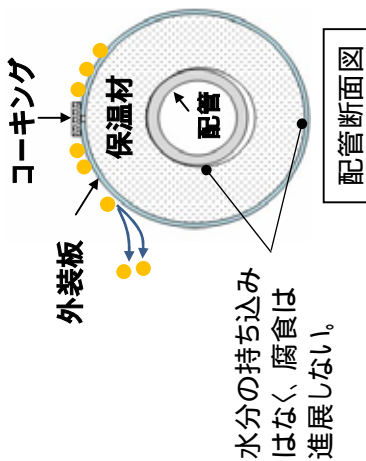
- 【常温時の腐食】
- 雨水の浸入により、配管外面が水分に長くさらされ腐食環境が形成される。
 - 配管外面に生成したマグネタイト (Fe₃O₄) の薄い部分 (保護性の弱い部位) で局所的に腐食が発生。
 - 更に、配管外面に濃縮した塩分が浸入水に溶け込み電気伝導率が高まる事で、より広範囲にわたって還元反応が生じて、局所的な腐食が加速される。
 - 皮膜が表面を保護している部分では、腐食 (酸化反応) が進みにくい。

空気抜き管に施工する外装板の腐食進展の考察



雨水浸入前

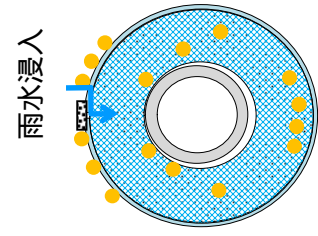
● 海塩粒子 (塩化物 (Cl) 等)



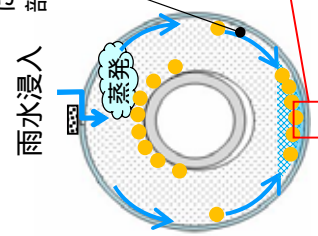
- 外装板外面には海塩粒子の付着と降雨による除去が生じる。

雨水浸入後

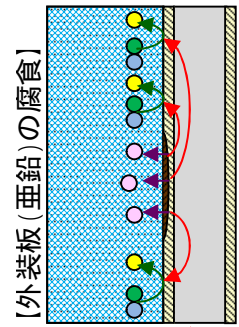
停止時 (常温)



運転時

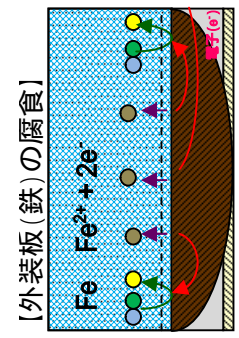
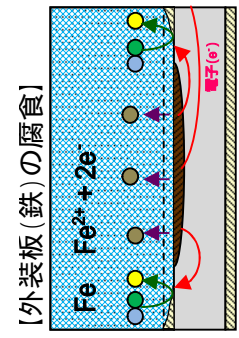
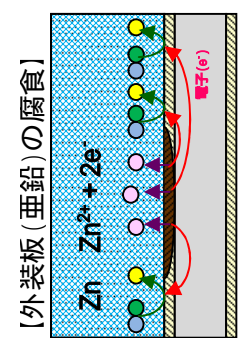
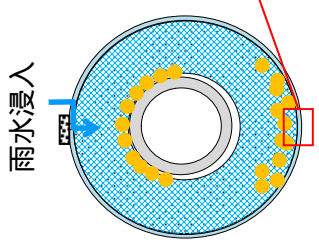


- 鉄イオン (Fe^{2+})
- 水 (H_2O)
- 水酸化物イオン (OH^-)
- 亜鉛イオン (Zn^{2+})
- 酸素 (O_2)



- 外装板継ぎ目部等から雨水や塩分が浸入し、配管外面や外装板内面で腐食環境が形成される。
- この時点で外装板も腐食を受ける。
- 運転時は配管内面が高温条件となり、保温材中の水分が蒸発し、塩分が局部的に濃縮する。
- 外装板底部は配管外面よりも温度が低く、配管外面と比べて水分に長くさらされる厳しい腐食環境にある。

長期停止時 (常温)

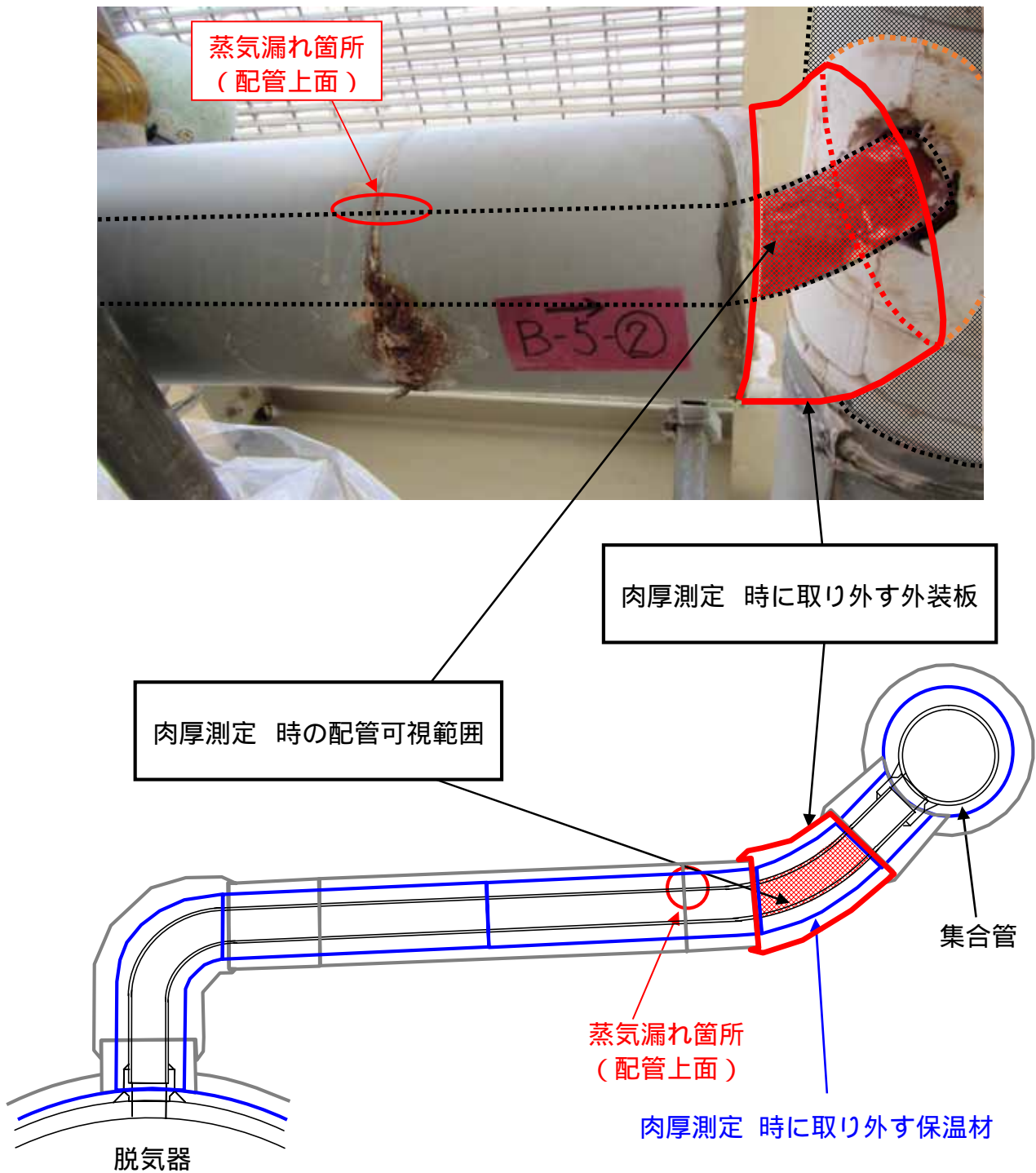


- 塩分が局部的に濃縮した状態で、水分に長くさらされる厳しい腐食環境下で、亜鉛メッキの腐食が進む。

- 亜鉛メッキ層が広範囲で消失すると、外装板 (鉄) の腐食が開始する。

- 外装板 (鉄) 全体が腐食を受け、貫通に至る。

空気抜き管の肉厚測定時の配管可視範囲



配管内面からの減肉を確認する目的で実施し、配管の内部流体によるエロージョン等の発生が懸念される箇所として、配管曲がり部を肉厚測定部位としている。

屋外配管の点検計画（サンプル）

玄海3号機 屋外配管外装板・保温材取替、点検計画表(案)

系統名	配管名	点検時期										備考			
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
高圧抽気	脱気器連絡蒸気管	○				○				○					
復水	主復水管	○				○				○					
高圧ドレンベント	脱気器空気抜き管	○				○				○					
		○							○					
		○							○					
			○							○				

【脱気器周辺配管点検順序の考え方】
点検範囲を各階層毎に区分し、環境（降雨等）からの影響を受けやすい上層階から順次計画し点検を行う。

総合点検チェックシート変更案

チェックシートのサンプル

玄海原子力発電所

総合点検チェックシート (汽機)

係	副長
---	----

(点検区域 屋 外)

平成〇〇年〇〇月〇〇日

項 目	内 容	点検結果	記 事
機 器	1. 運転中の機器に異常な振動はないか	○	
	2. 運転中の機器に異臭、異音はないか	○	
	3. 機器の油面は正常か、油汚れはないか	○	
	4. 運転中の機器の温度に異常はないか	○	
	5. 機器、配管の漏洩・損傷はないか	○	
	6. 弁類の漏洩・損傷はないか	○	
	7. 保温に損傷箇所はないか	○	気付き事項報告書に記入
	8. 塗装の剥離、発錆はないか	○	
	9. 支持装置に異常はないか ※1	○	
全 般	1. 非管理区域において、放射性物質を含まないと判断できない漏えいはないか	○	
	2. 雨漏り、床割れ等ないか	○	
	3. 防火設備の状態は正常か	○	
	4. 職場環境の整備、整頓、清掃は良いか	○	
	5. 資機材 (常設・仮置) の保管状況は良いか 資機材 (常設・仮置) 届で申請されていないものが置かれていないか	○	
	6. 火災の発生はないか、可燃物の管理は適切か	○	
	7. 配管貫通部等の浸水防止処置は良いか ※2	○	
	8. 足場の整備は良いか ※3	○	
	9. 火災時に放水した場合、消火水により防護すべき設備の安全機能への影響はないか	○	
	10. 蒸気環境に曝された場合、蒸気により防護すべき設備の安全機能への影響はないか	○	

- (記) 点検結果には異常の有・無を記入する。(異常無：○ 異常有：×)
 異常のある場合は、「異常状況報告書」に状況を記録するとともに、記事にその旨を記入する。また、異常とまではいかないが気付き事項がある場合は、「気付き事項報告書」に状況を記録するとともに、記事にその旨を記入する。
- ※1 異物・錆の状況やボルト・ナット等の取付け状態についても可能な範囲で確認する。
 - ※2 R/B、A/BとT/Bとの境界壁の貫通部
 - ※3 仮設足場については周辺機器と適切な間隔が保たれ、支持されていることを確認する。

総合点検チェックシート変更案

チェックシートのサンプル

係	副長	課長

気付き事項報告書

発見日時	平成〇〇年〇〇月〇〇日
場 所	屋外（脱気器廻り）
系 統	復水系統
機 器	配管
写 真	<div style="border: 1px solid red; padding: 10px; text-align: center;"> <p>当該機器の経年的な変化がわかる様に点検、補修時等の写真を貼り付ける。</p> </div>
状 況	外装板の表面に配管上部の高所にある架台から錆が滴下したことによると推定される発錆（もらい錆）が見られた。
処置方針	補修 ・ 経過観察 *
理 由	外装板自体に損傷が見られないことから、内部の配管に直ちに影響を及ぼさないと判断し、外装板表面の錆を除去するとともに、もらい錆の再発について経過観察とする。
備 考	

※経過観察と判断した場合は、「経過観察確認リスト」にて経年的に状況を確認する。

3号機 脱気器空気抜き管点検工程

	3/31 (土)	4/1 (日)	4/2 (月)	4/3 (火)	4/4 (水)	4/5 (木)	4/6 (金)	4/7 (土)	4/8 (日)	4/9 (月)
点 検 工 程	点検準備 (足場組立、保温材取り外し)				配管点検 (外面点検、内面点検)					
								配管取替		
									保温材等復旧	

当該管以外の空気抜き管15本についても、外装板及び保温材の取り替えを実施するとともに、念のため、空気を抜き管の取り替えも実施した。