

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。

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-12)~~

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

玄海原子力発電所トラブル事例集

(教育資料)

作 成：平成 25 年 2 月 25 日

最終改訂：平成 30 年 4 月 20 日

玄海原子力発電所

改 訂 来 歴							
番号	日 付	改 訂 内 容 ・ 理 由	安全品質保証第二統括室				
			係	副長	課長	副室長	室長
作成	H25. 2. 25	玄海 4 号機復水器真空低下に伴う原子炉自動停止事象に関する RCA 結果に基づく対策の一環として実施することとした「発電所トラブル事例教育」の教育資料として新規作成					
1	H28. 1. 29	<ul style="list-style-type: none"> 平成 27 年 9 月 10 日に発生した ERSS への伝送データ不具合事象について運用面の問題点及び対策を追加 記載の適正化 					
2	表紙のとおり	<ul style="list-style-type: none"> 玄海 3 号機脱気器空気抜き管からの微少な蒸気漏れ事象を追加 記載の適正化 					

*本資料は、安全品質保証第二統括室長が年 1 回及び当発電所でのトラブル事例発生（ニューシア登録後）時にレビューを行い必要により改訂する。

その他発電所が必要と判断した事例

ユニット	資料番号	事象	原因分類
玄海3号機	G3-1-他	所外データ伝送設備の伝送不具合について	-
	G3-2-他	脱気器空気抜き管からの微少な蒸気漏れ	-

事 象	脱気器空気抜き管からの微少な蒸気漏れ		事象の種類	火災に該当しない事象
			原因分類	
プラント	玄海3号機	発生日時	2018年 03月 30日 19時 00分頃	
事象発生状況 定期検査中の玄海原子力発電所3号機(加圧水型軽水炉、定格電気出力 118 万キロワット)は、平成 30 年 3 月 25 日に発電を再開し、電気出力 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、事前に公表したうえで、電気出力 75%から負荷降下を行い発電を停止し、念のため点検を行うこととした。 本事象による環境への放射能の影響はなかった。				
原因 点検及び調査結果のまとめ <ul style="list-style-type: none"> ・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。 考察 <ul style="list-style-type: none"> ・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侵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。 ・当該管の水平部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。 ・外装板の外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。 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が浸入し外面からの腐食が引き起こされ、さらに長時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。				
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 (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。 ・異常が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こ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。 (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、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。 ・これまでとは異なる状態が認められた場合等、都度行っていたが、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。

(3) 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。

(4) 共有する仕組みの構築

「(1)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。

(5) 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。

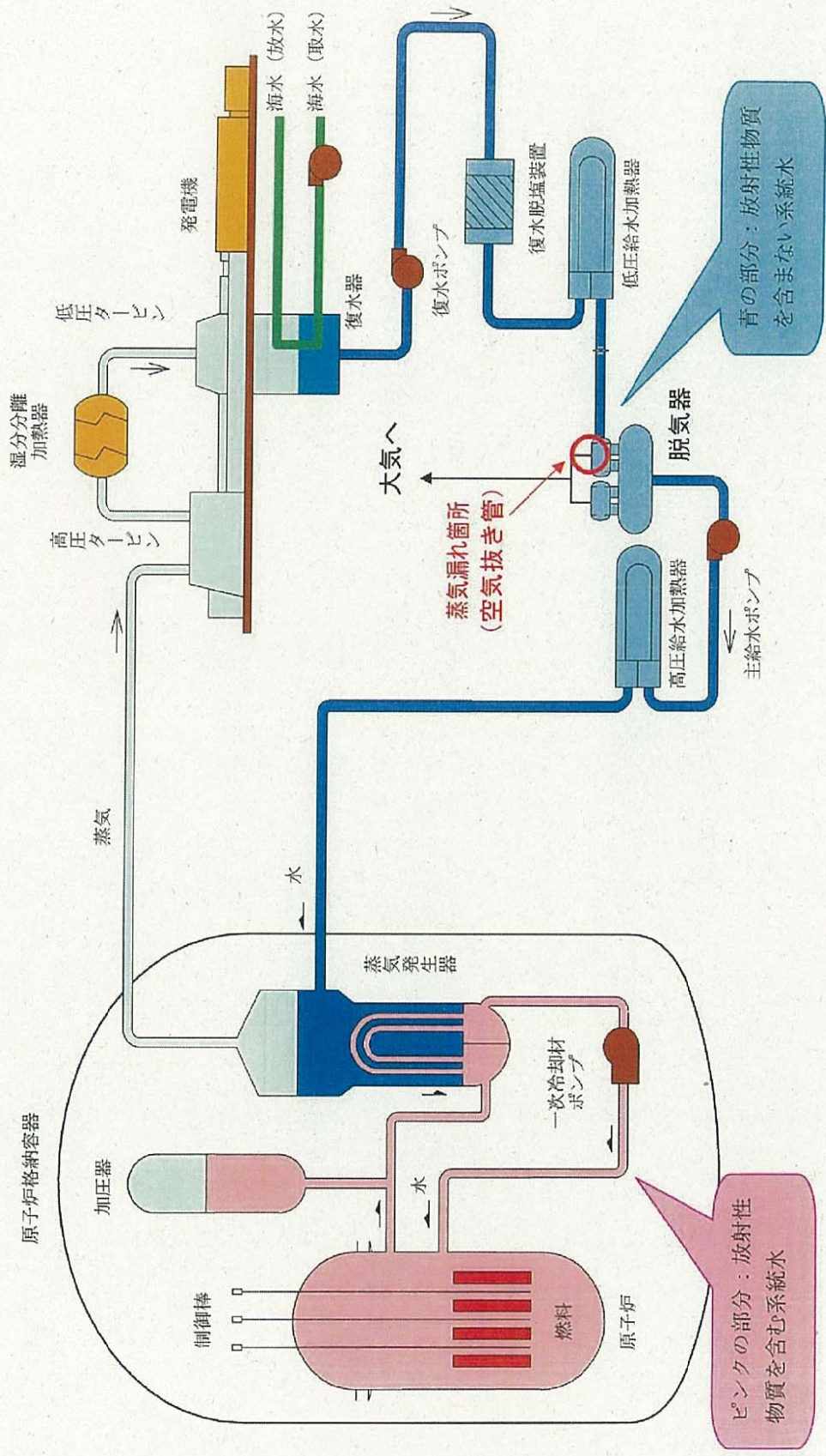
- ・当該管を含む脱気器廻りの屋外配管の範囲について、雨水浸入などに対する信頼性を向上させる観点から、ステンレス鋼への取り替えや屋根設置等に取り組んでいく。
- ・錆の発生や進展に対する知見を深めるとともに、その知見を計画策定に反映する。
- ・沿岸部であることを十分に考慮し、外装板のメッキ方法や配管の防錆塗装の知見を収集する。
- ・外装板の取付け方法の最適化について検討する。
- ・覆われて見えない設備に対する非破壊検査方法の知見の収集・活用を行う。
- ・取り外した当該管に関する知見を有効活用するため、当該管の断面観察を行う。

保安規程違反【無】

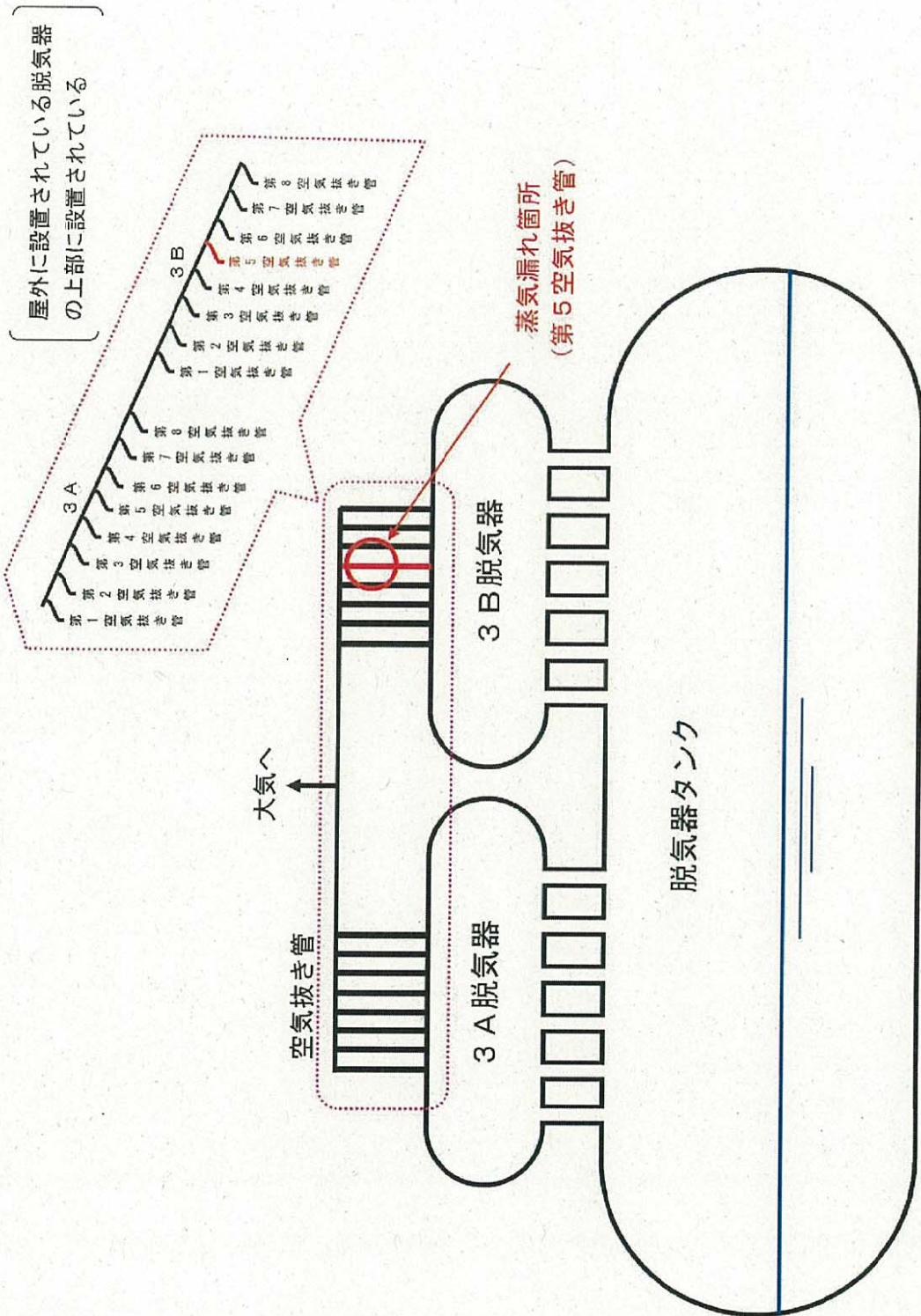
添付資料

- ・概略系統図
- ・脱気器概要図
- ・脱気器主要仕様
- ・空気抜き管の外装板、保温材及び配管撮影箇所
- ・空気抜き管の外装板及び保温材の点検
- ・空気抜き管の点検
- ・空気抜き管外装板内への浸入箇所の考察
- ・空気抜き管の外表面腐食進展の考察
- ・空気抜き管に施工する外装板の腐食進展の考察

概略系統図



脱気器概要図



屋外に設置されている脱気器
の上部に設置されている

蒸気漏れ箇所
(第5空気抜き管)

脱気器タンク

大気へ

空気抜き管

3 A 脱気器

3 B 脱気器

3 A

3 B

- 第1空気抜き管
- 第2空気抜き管
- 第3空気抜き管
- 第4空気抜き管
- 第5空気抜き管
- 第6空気抜き管
- 第7空気抜き管
- 第8空気抜き管

脱気器主要仕様

1. 主要仕様

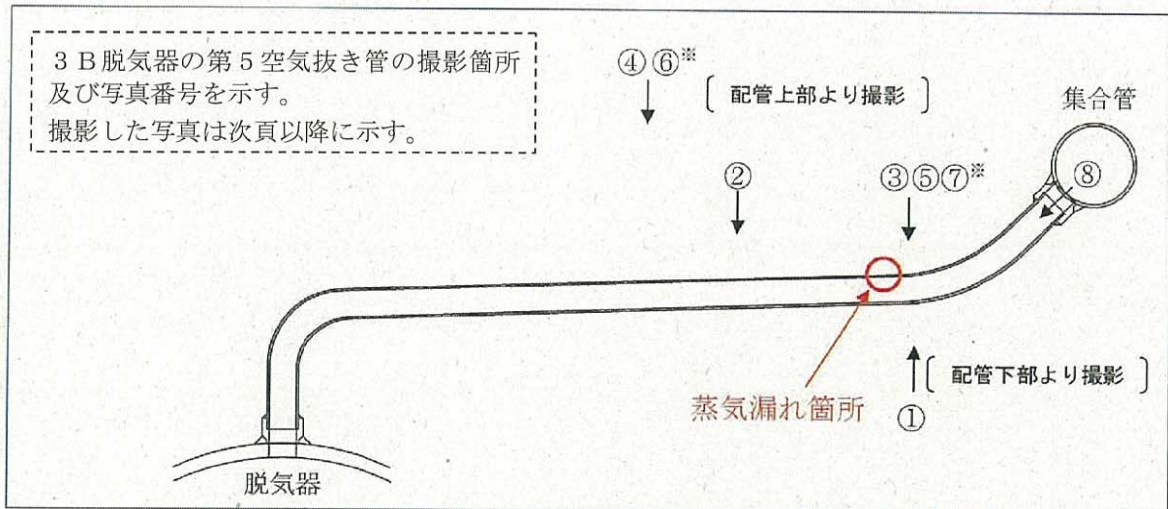
主要項目		
名称	脱気器	脱気器タンク
型式	横置スプレイトレイ形	横置円筒形
基数	2	1
最高使用圧力	1.37MPa	1.37MPa
最高使用温度	200℃	200℃
貯水容量 (正常水位時)	—	600m ³
胴内径	3,000mm	4,700mm
胴厚さ	23mm	34mm
鏡板厚さ	25mm	36mm
全長	19,980mm	43,570mm

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	—

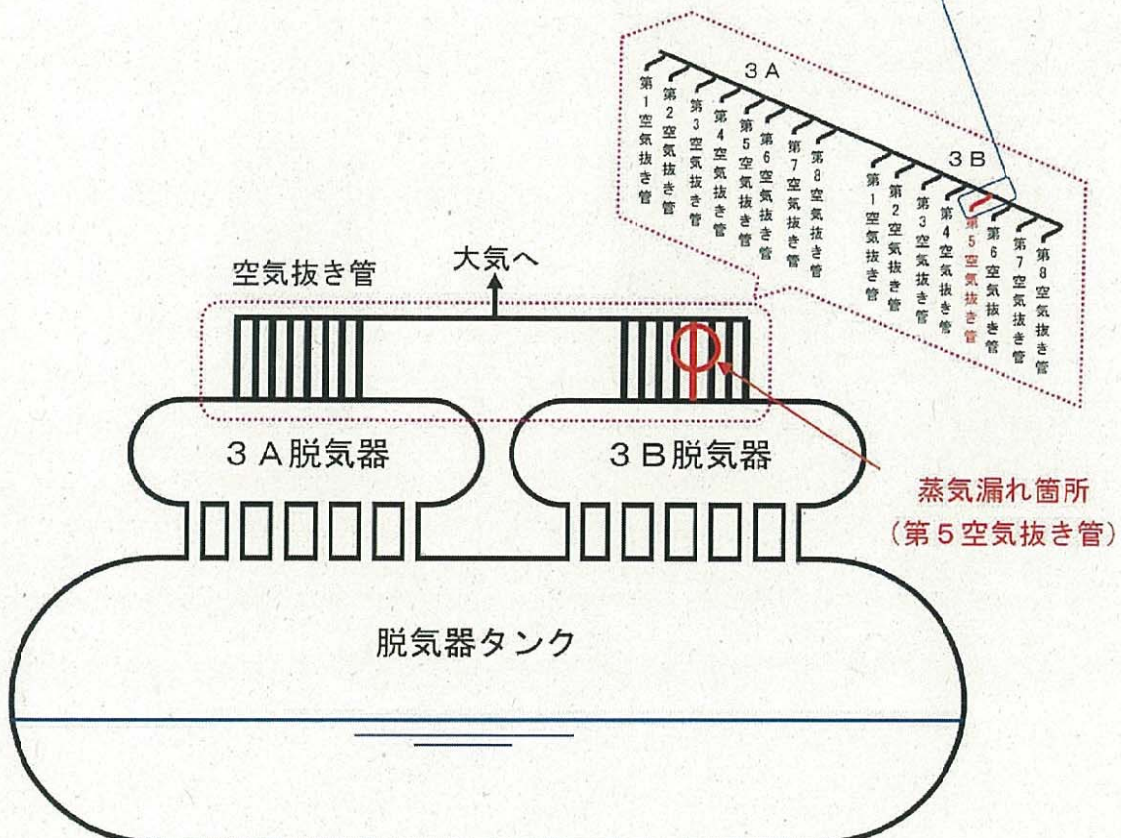
2. 当該管の仕様

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



※：⑥及び⑦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



(1/2)

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】



- ・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

(2/2)

空気抜き管の外装板及び保温材の点検

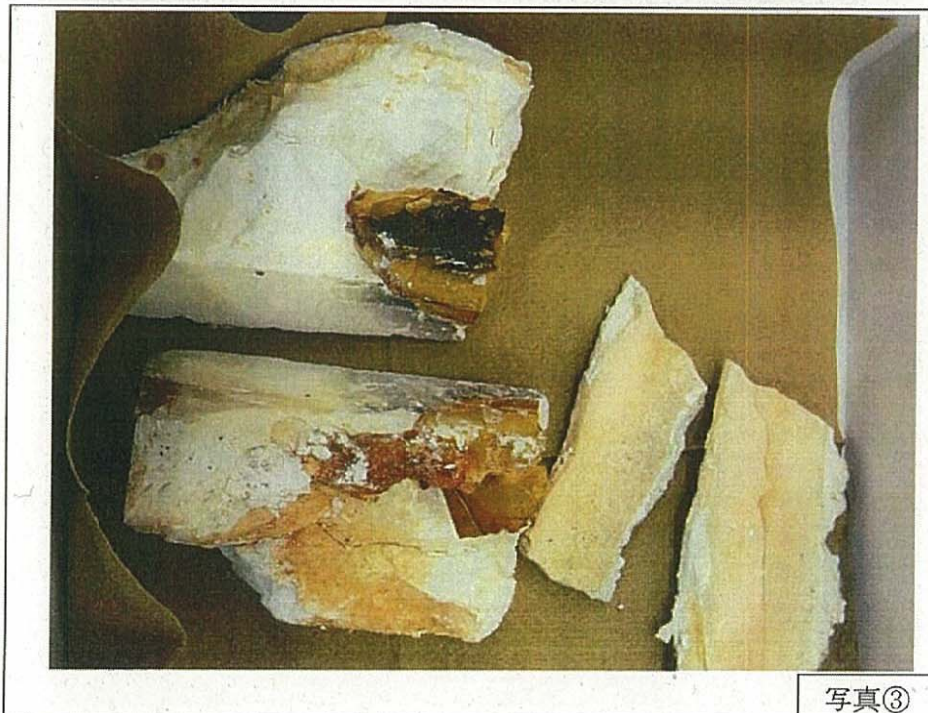
○蒸気漏れ箇所付近【3B脱気器の第5空気抜き管の保温材外面】



写真②

・外装板を取り外した状況

○蒸気漏れ箇所付近【3B脱気器の第5空気抜き管の保温材内面】



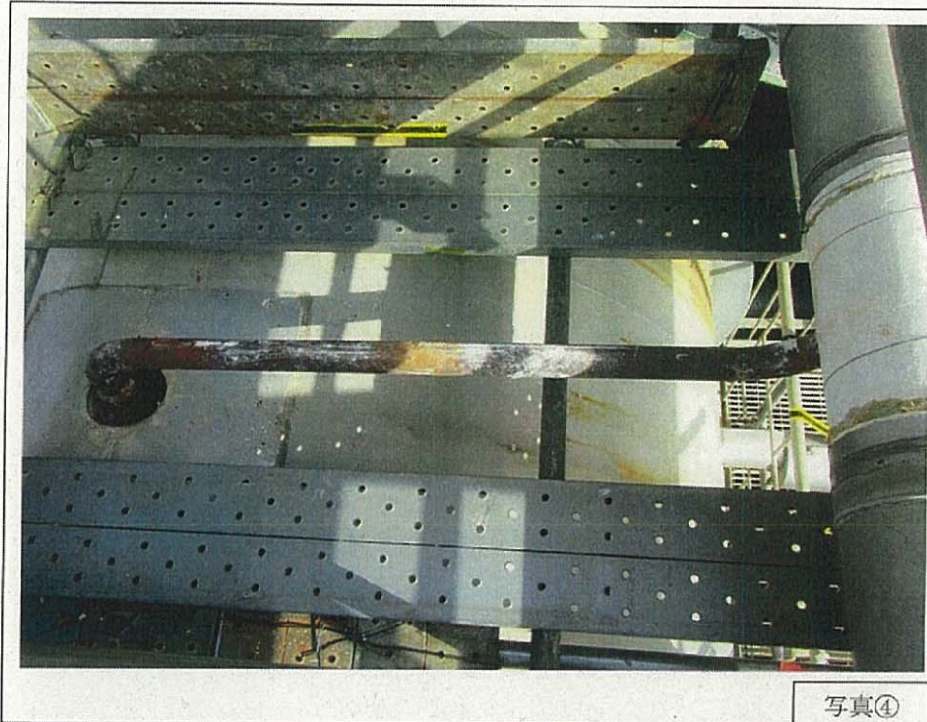
写真③

・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

(1/3)

空気抜き管の点検

○当該管配管外面【3B脱気器の第5空気抜き管】



写真④

○当該管の蒸気漏れ箇所付近の配管外面【3B脱気器の第5空気抜き管】



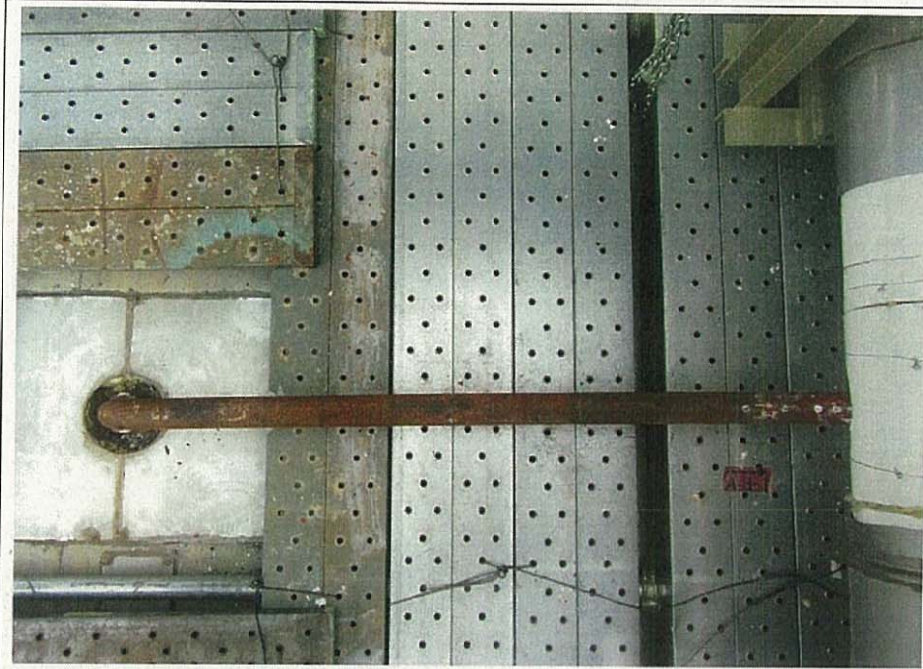
写真⑤

・貫通孔（長さ13mm×幅6mm程度）が確認された

(2/3)

空気抜き管の点検

○当該管以外の配管外面【3A脱気器の第3空気抜き管】



写真⑥



写真⑦

・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

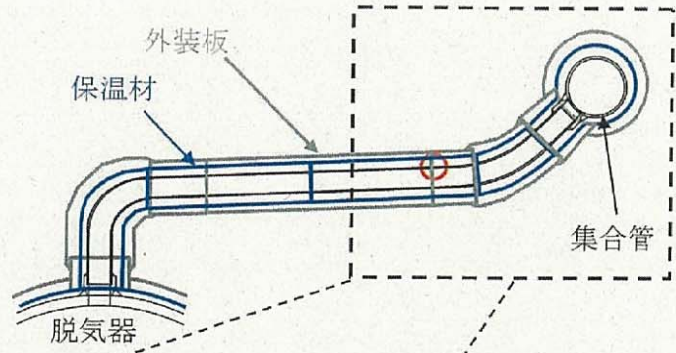
○当該管配管内面【3B脱気器の第5空気抜き管】



・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

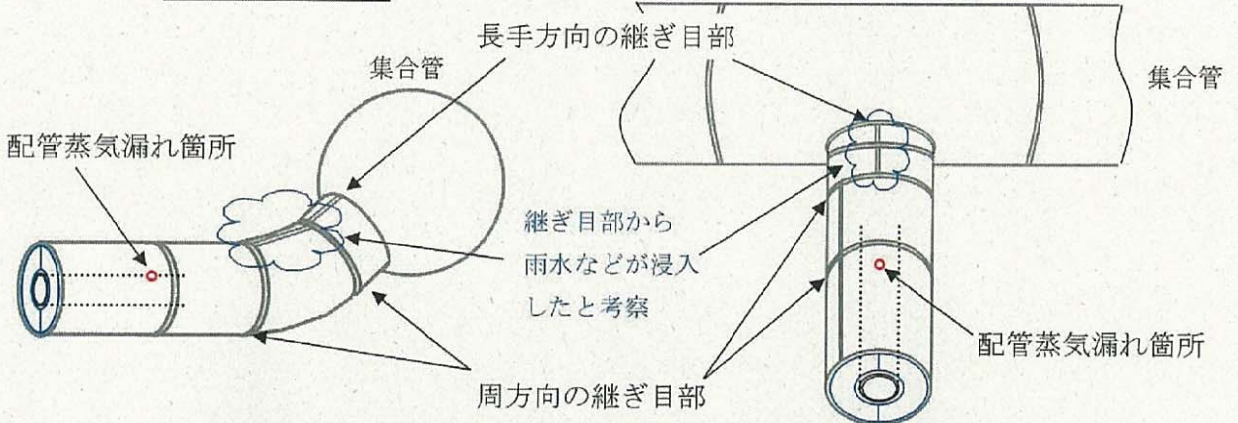
空気抜き管外装板内への浸入箇所 の 考察

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。

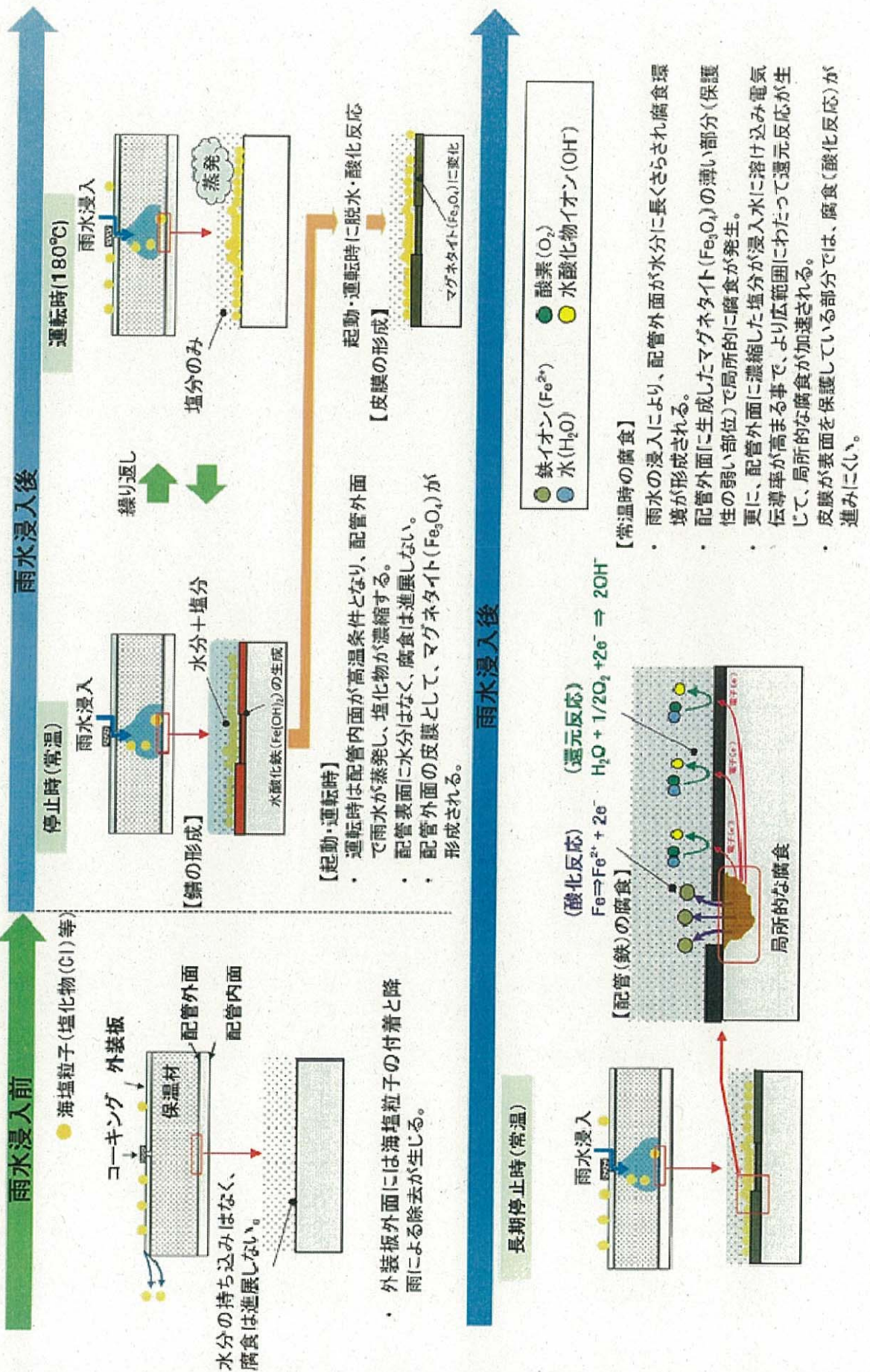


横から見た図

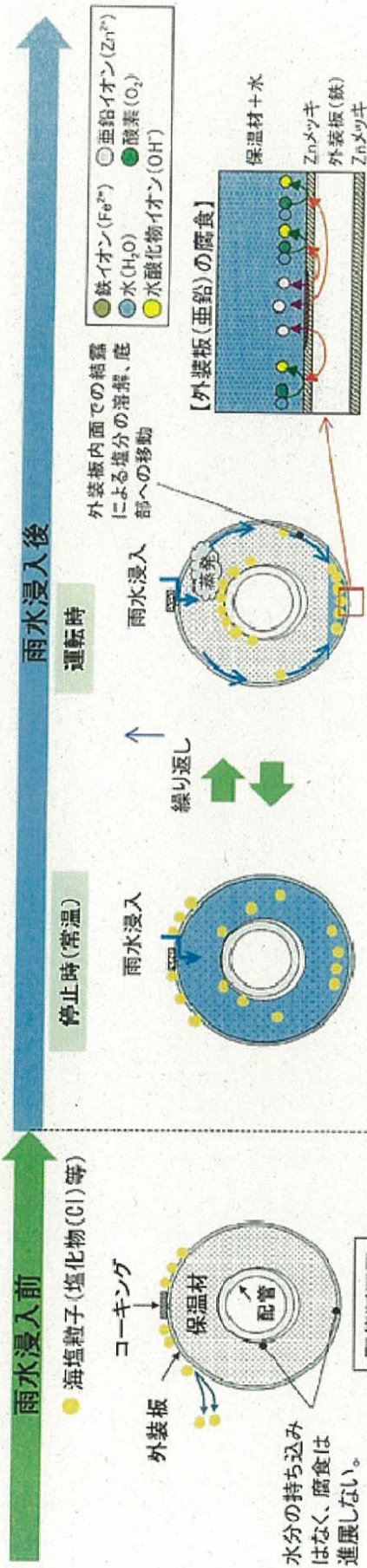
上から見た図



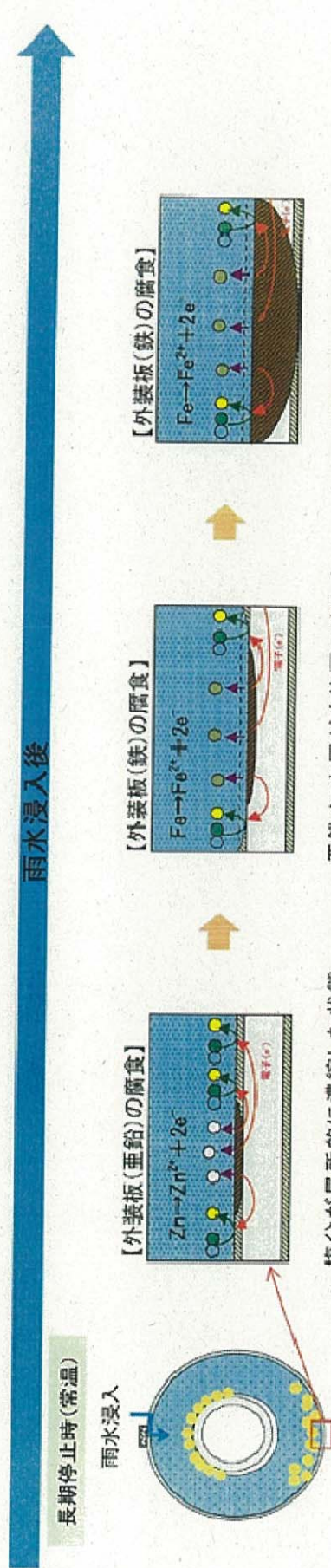
空気抜き管の外面腐食進展の考察



空気抜き管に施工する外装板の腐食進展の考察



- 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。



- 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)の腐食を受け、貫通に至る。

玄海原子力発電所
教 育 訓 練 基 準

〔 制 定 平成12年 3月31日 〕
〔 最終改正 2019年 7月 1日 〕

九州電力株式会社
玄海原子力発電所

(1 / 15)

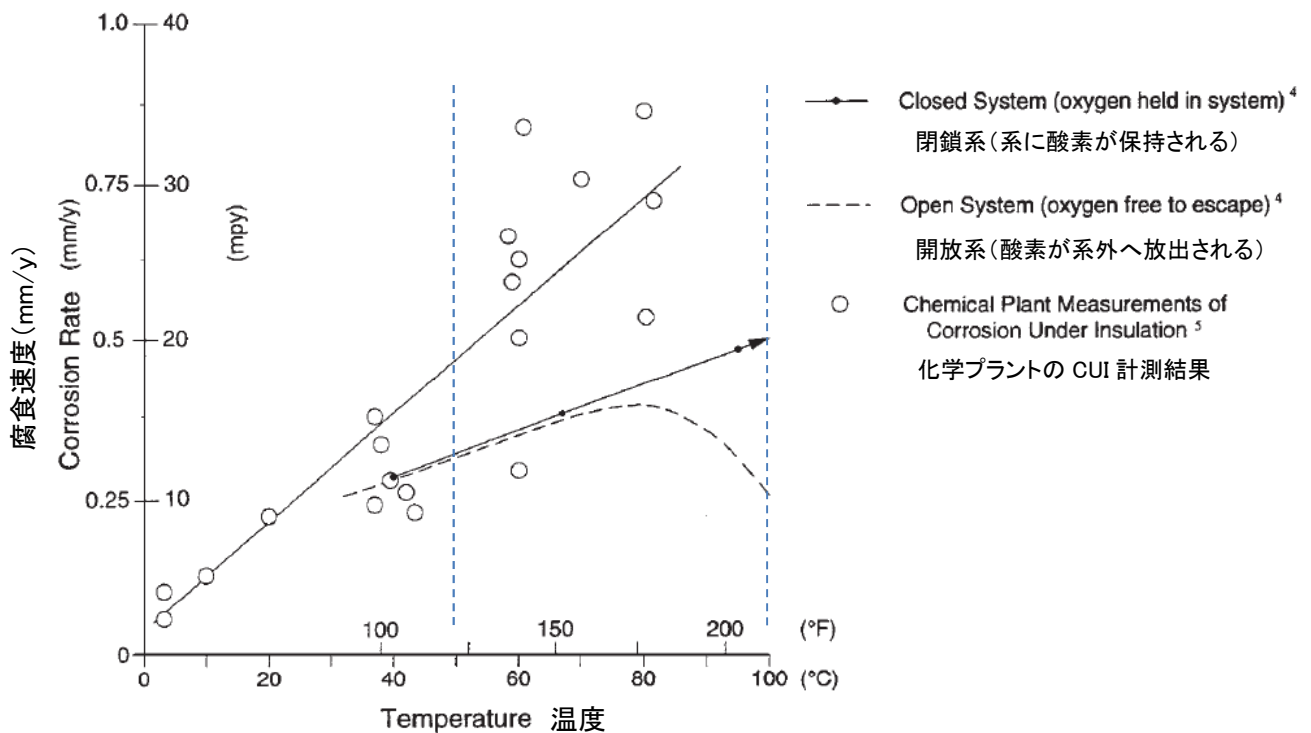
別表5-2 原子力一般教育一覧表(その他の教育訓練)

区分	名称	内容	実施時期	対象者	主管箇所	備考	
職場内教育	放射線業務従事者等 指定時等の放射線 管理教育(d)	総合的実地教育	発電所 新規配属後	放射線業務従事者 へ指定した者	各第二課 (室、センター)	* 技術系各課員とは、保健第二課員、発電第二課員、安全管理第二課員、技術第二課員、土木建築課員、防災課員、安全品質保証第二統括室員をいふ。	
	発電所トラブル事例教育	過去に当社で経験したトラブル事例を周知し、トラブルに 対する意識の高揚を図る。	1回/年	技術系各課員*	技術系各課		
	初級教育	初級教育	原子力発電所の運営、調査など定常業務の遂行に必要な実 務習得を図る。	都度	調査係員		技術系各課
			原子力発電所の燃料、内挿物及び炉心管理など定常業務の 遂行に必要な実務習得を図る。	都度	燃料係員		
	中堅教育	中堅教育	定常業務のほか計画の策定などを加えて、より高度な業務 の遂行に必要な実務習得を図る。	都度	調査係員		技術第二課
			定常業務のほか計画立案などを加えて、より高度な業務の 遂行に必要な実務習得を図る。	都度	燃料係員		
	係内教育	係内教育	設備、品証活動、規定類の制定改廃、作業管理、調達管理 等業務の遂行に必要な教育を行い、資質の向上を図る。	都度	調査係員		技術第二課
			設備、品証活動、規定類の制定改廃、作業管理、調達管理 等業務の遂行に必要な教育を行い、資質の向上を図る。	都度	燃料係員		
	初級教育	初級教育	原子力発電所の管理区域等への出入、個人被ばく、管理区域内作業、 放射能測定など定常業務の遂行に必要な実務習得を図る。	都度	放射管係員		安全管理第二課
			原子力発電所の水質、ガス、化学薬品、記録・文書などの管理及 び各種分析等の定常業務の遂行に必要な実務習得を図る。	都度	化学係員		
	中堅教育	中堅教育	定常業務のほか汚染除去、放射性廃棄物などの管理を加え て、より高度な業務の遂行に必要な実務習得を図る。	都度	放射管係員		安全管理第二課
			定常業務のほか環境管理、各種管理基準等の適用などを加 えて、より高度な業務の遂行に必要な実務習得を図る。	都度	化学係員		
	係内教育	係内教育	設備、品証活動、規定類の制定改廃、作業管理、調達管理 等業務の遂行に必要な教育を行い、資質の向上を図る。	都度	放射管係員		安全管理第二課
			設備、品証活動、規定類の制定改廃、作業管理、調達管理 等業務の遂行に必要な教育を行い、資質の向上を図る。	都度	化学係員		

玄海3号機 屋外配管の保温取替及び配管点検計画表

系統名	配管名	点検周期	点検時期											備考			
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
軸冷	循環水ポンプ軸受潤滑水配管	4C	○		○						○						
	循環水ポンプモータ冷却水配管	4C	○		○						○						
D G	非常用DG燃料配管	4C	○					○							○		

保温材下腐食におけるメカニズム



図：鋼材の腐食に対する温度依存性

〔 出典：Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials - A System Approach, NACE SP0198-2010 〕

錆の発生や進展に係る文献等の調査により、外装板及び保温材が施工され、雨水等が外装板内へ浸入し湿潤状態となっている炭素鋼配管においては、以下のような腐食が発生、進展していることを確認した。

配管温度約 50 未満の場合

保温材があることで配管表面が湿潤状態であり、主に赤錆（水酸化鉄）の生成を伴う全面腐食の形態を示す保温材下腐食が発生する。温度が低いことから配管表面の液膜を介した酸素の供給による影響を受けにくく、かつ、塩化物が濃縮し難いため、腐食速度は遅い。外装板及び保温材を施工していない一般的な炭素鋼配管の腐食速度と同程度である。

配管温度約 50 以上約 100 未満の場合

保温材があることでこの温度領域でも配管表面が湿潤状態に保たれやすく、この場合も、主に赤錆（水酸化鉄）の生成を伴う全面腐食の形態を示す保温材下腐食が発生する。配管表面の液膜を介した酸素の供給による影響が大きく、かつ、塩化物も濃縮されるため、腐食速度は速い。なお、化学プラント等における保温材下の炭素鋼配管の腐食は、この温度領域の配管で多く発生している。

配管温度約 100 以上の場合

停止中等に保温材があることで配管表面が湿潤状態であった場合、主に赤錆（水酸化鉄）の生成を伴う全面腐食の形態を示す保温材下腐食が発生する。運転することによって生成した赤錆（水酸化鉄）が、脱水・酸化され保護性の皮膜である黒錆（マグネタイト）に変化する。配管表面が乾燥状態となった後は、腐食は進行しない。

今回の事象

今回の事象において、当該脱気器空気抜き配管は 100 以上（約 180 ）であったものの、長期停止により長期間配管表面が湿潤状態となり、通常運転時に生成された黒錆（マグネタイト）の薄い部分において局所的に腐食が発生し加速したと考えており、約 100 未満の配管に確認されている保温材下腐食（全面腐食の形態）（上記 及び ）及び約 100 以上の配管の状態（上記 ）とは相違しているものと考えられる。

化学プラント等における保温材下腐食の例

【Tr-C スタビライザーカラム (V-410G)】:STABILIZER COLUMN

腐食場所: 液面レベル計元弁 (グラスウール)

Location: Level control nozzle, Valve @ glass wool

腐食状況: 最大2.1mmの減肉 (元肉3.9mm)

Situation: General corrosion MAX. 2.1mm

使用期間: 9年

Operation: 9 Year

腐食速度: 0.23mm/y

Corrosion speed: 0.23mm/y

運転温度 95°C

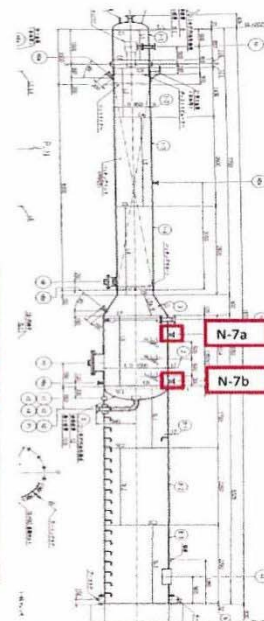
Operating temperature: 95°C



液面計元バルブ



液面計ノズル



【LV-151D上流配管】:

腐食場所: 液面調節弁 締切弁 (グラスウール)

Location: Level control ON-OFF Valve @ glass wool

腐食状況: 貫通による漏洩

Situation: Through hole

使用期間: 22年

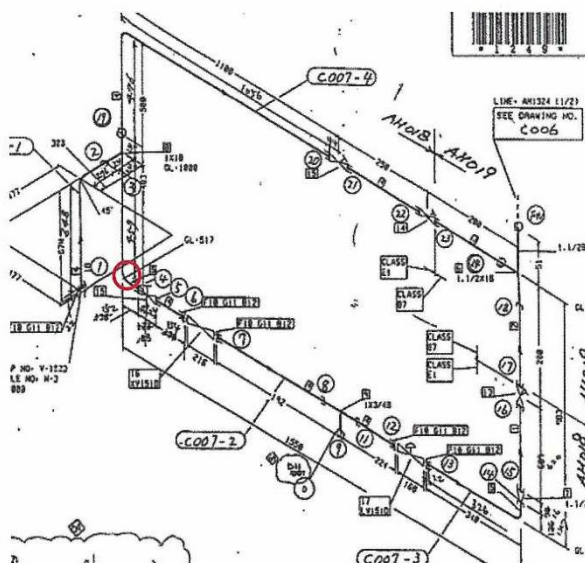
Operation: 22 Year

腐食速度: 0.20mm/y

Corrosion speed: 0.20mm/y

運転温度: 57°C (トレース施工有)

Operating temperature: 57°C, Steam Trace



外装板に係る調査結果

一般名称		塗装溶融亜鉛めっき鋼板	塗装溶融亜鉛・5%アルミニウム合金めっき鋼板	塗装溶融 55%アルミニウム・亜鉛合金めっき鋼板	フッ素系塗装溶融亜鉛・5%アルミニウム合金めっき鋼板	フッ素系塗装溶融 55%アルミニウム・亜鉛合金めっき鋼板	ポリエステルポリウレタン塗装ステンレス鋼板
JFE	名称	JFE カラー	JFE カラーエコガル	JFE カラーGL つやあり	JFE カラーF20 エコガル	JFE カラーF20GL	—
	塗替え迄の目安	7～11年	10～13年	11～15年	22～30年	22～30年	—
東海カラー (新日鉄住金傘下)	名称	トーカイカラーシリーズ	—	トーカイカラーGLシリーズ	—	スーパーフロンGLシリーズ	—
	製品保証	10年	—	15年	—	20年	—
日鉄日新製鋼	名称	月星カラー	—	月星 GL カラー /SELiOS Prime	—	月星 GL カラーTF	月星スワンカラー
	製品保証	10年	—	15年(変退色、膨れ・剥がれ) 25年(穴あき)	—	(記載なし)	10年
日鉄住金鋼板	名称	—	—	ニスクカラー	—	タイマフロン GL	—
	製品保証	—	—	10年	—	20年	—

保温材に係る調査結果

種類	基材	製品例	メーカー	耐熱温度 (°C)	撥水性	吸水率 (浸漬)	pH	備考
一般 保温材	けい酸カルシウム	ケイカルエース スーパーシリカ	明星工業	850	無	60 vol%/40hr	9.8	
	ロックウール	MGマイティロール (フェルト)	ニチアス	400未満	無	-	(9.6~ 10.1)	
	ロックウール	MGマイティカバー (保温筒)	ニチアス	600	無	-	(9.6~ 10.1)	
	グラスウール	保温帯	旭ファイバー グラス	300未満	無	-	-	
	グラスウール	保温筒	旭ファイバー グラス	300未満	無	-	-	
腐食抑制型 保温材	けい酸カルシウム	ケイカルエースWIN	明星工業	-	無	-	-	・防錆顔料として亜 リン酸カルシウムと 亜硝酸型ハイドロカ ルマイトを固定化
	けい酸カルシウム	インビブライト	日本インシュ レーション	250 (1000)	有	-	9~12	・ナトリウムイオンと ケイ酸イオンが溶出 してpH上昇 ・250°C以上では 水性低下
はっ水性 保温材	けい酸カルシウム	ケイカルエース・ スーパーシリカWP	日本ケイカル	250	有	80 vol%/40hr	-	・長時間の水中浸漬 では浸水する。 ・300°C以上では 水性低下
	グラスファイバー 不織布	パイロジェルXT	aspen aerogels (ニチアス)	650 (400)	有	6 wt%以下 /15min	-	・シリカエアロジェル を含浸

防錆塗装に係る調査結果 (炭素鋼)

塗料名	塗料系 (種類)	メーカ	実績	耐熱温度	NACE Standard SP0198-2016に記載の ある使用温度範囲
パイロジンLL#600	シリコーン系	大日本塗料	あり	600°C	CS-6 -45°C~650°C
パイロジンLL#300	シリコーン系	大日本塗料	あり	300°C	CS-6 -45°C~650°C
パイロジンLL#200	シリコーン系	大日本塗料	あり	200°C	CS-6 -45°C~650°C
ジンクブランマーR-HB	シリコーン系	ジャパンカーボライン	あり	120°C	— (規格外)
ZPプライマー無鉛 グリーンスポイド速乾下塗 ゼッターールEP-2HB	アルキド樹脂/鉛・クロムフリーさ び止め/厚膜形有機ジンクリッチ	大日本塗料	あり	-	— (規格外)
サモスター 配管用S	シリコーン系	関西ペイント	— (2018年6月販売開始)	650°C	CS-6 -45°C~650°C
サモスター配管用S (上塗) + SDジンク1500A (下塗)	シリコーン系	関西ペイント	— (2018年6月販売開始)	650°C	CS-6 -45°C~650°C
Interbond 1202UPC	inorganic copolymer	AkzoNobel	あり (海外)	650°C	CS-6 -45°C~650°C
ラストフリー PEX (上塗) + P (下塗)	シリコーン系	シールドテクス	-	-	CS-4 -45°C~205°C or CS-6 -45°C~650°C
ルビゴール	フェノール エポキシ系	関西ペイント	— (試験施工中)	-	CS-3 -45°C~150°C
サモスター 配管用E	フェノール(ノボラック) エポキシ系	関西ペイント	— (2018年6月販売開始)	200°C	CS-4 -45°C~205°C
Interbond 2340UPC	フェノール(ノボラック) エポキシ系	AkzoNobel	あり (海外)	230°C	CS-4 -45°C~205°C
SIGMATHERM 230 /PPG HI-TEMP 230	フェノール エポキシ系	PPG Protective & Marine Coatings	-	230°C	CS-3 -45°C~150°C
CUJシャット	multipolymeric matrix	大日本塗料	— (2018年10月販売開始)	-185°C~540°C	CS-6 -45°C~650°C
HEAT-FLEX HI-TEMP 1200	multipolymeric matrix	SHERWIN WILLIAMS	-	649°C (1200° F)	CS-6 -45°C~650°C
Intertherm 751CSA	inorganic copolymer (titanium modified)	AkzoNobel	あり	400°C	CS-6 -45°C~650°C or CS-8 -45°C~400°C
該当なし	該当なし	中国塗料	-	-	-

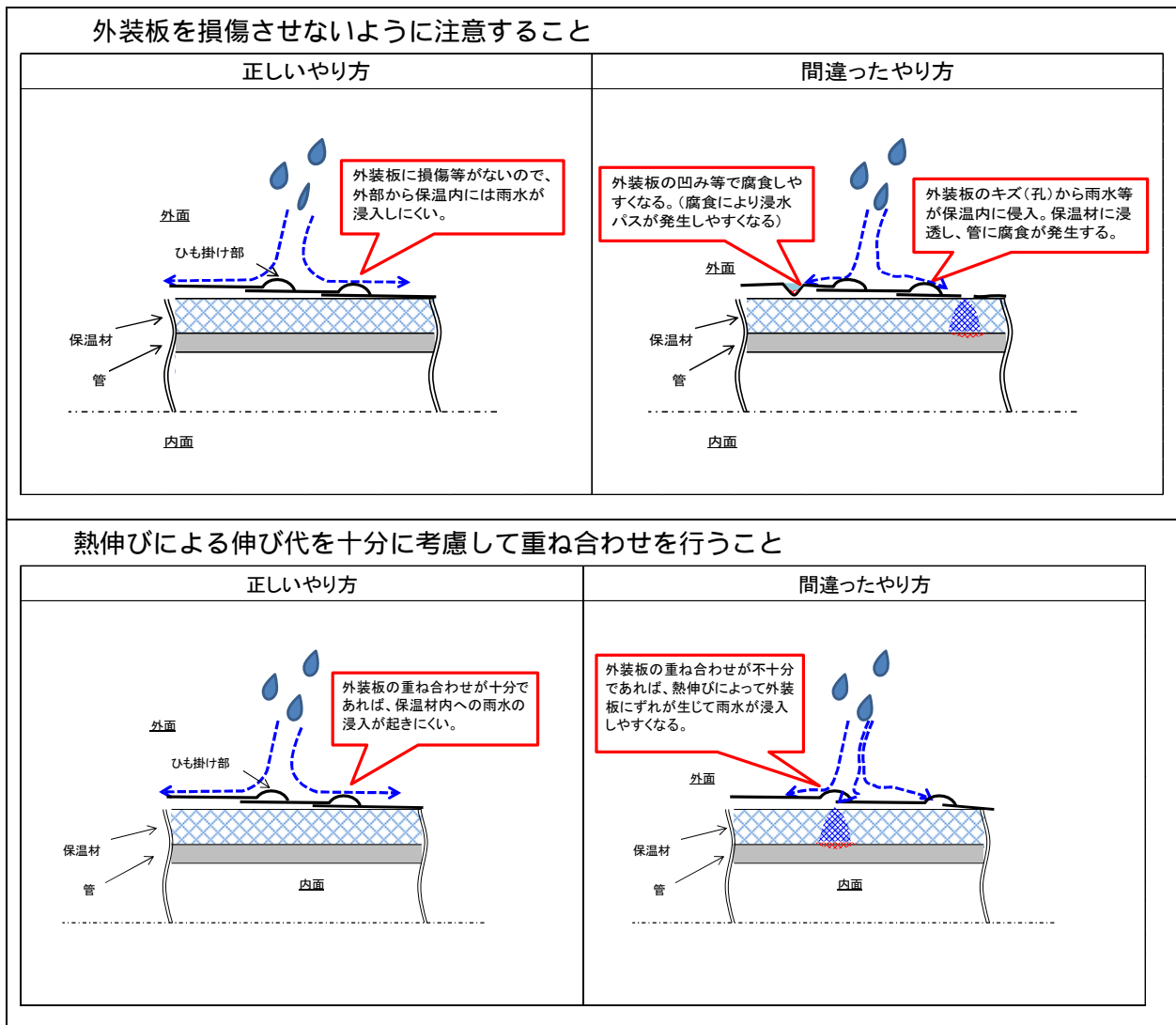
防錆塗装に係る調査結果 (ステンレス鋼)

塗料名	塗料系 (種類)	メーカー	実績	耐熱温度	NACE Standard SP0198-2016に記載の ある使用温度範囲
サーマライン4674 (旧名:カーボライン4674)	シリコン系	ジャパン カーボライン	あり	連続400°C 断続540°C	SS-4 -45°C~540°C or SS-5 -45°C~650°C
テンガードシステム塗料 (テンガードブランマー/テンガードトップS)	変性エポキシ樹脂塗料/厚膜系 アクリルシリコン樹脂塗料	ジャパンカーボライン	あり	連続120°C	- (規格外)
エポニックス#10下塗/VトップHスマイル 中塗・上塗 エポニックス#10下塗/Vフロン#100Hスマイル 中塗・上塗	エポキシ樹脂塗料/ポリウレタン 樹脂塗料/ふっ素樹脂塗料	大日本塗料	あり	-	- (規格外)
サモスター 配管用S	シリコン系	関西ペイント	- (2018年6月販売開始)	650°C	SS-4 -45°C~540°C or SS-5 -45°C~650°C
Interbond 1202UPC	inorganic copolymer	AkzoNobel	あり (海外)	650°C	SS-5 -45°C~650°C
SCCシャット 中温用	シリコン系 (エポキシ変性シリコン)	大日本塗料	あり	80°C~200°C 未満 (使用温度範囲)	SS-4 -45°C~540°C
SCCシャット 高温用	シリコン系 (純シリコン)	大日本塗料	あり	200°C~300°C 未満 (使用温度範囲)	SS-5 -45°C~650°C
ラストフリー PEX	シリコン系	シールドテクス	-	-	SS-4 -45°C~540°C or SS-5 -45°C~650°C
パイロジン IN-HB	シリコン系 (特殊変性シリコン)	大日本塗料	あり	200°C	SS-4 -45°C~540°C
VシリコンHR シルバー	シリコン系	大日本塗料	あり	600°C	SS-4 -45°C~540°C or SS-5 -45°C~650°C
ヒートトップ ST-300	シリコン系	熱研化学	あり	300°C	SS-4 -45°C~540°C or SS-5 -45°C~650°C
サモスター 配管用E	フェノール(ノボラック) エポキシ系	関西ペイント	- (2018年6月販売開始)	200°C	SS-3 -45°C~205°C
Interbond 2340UPC	フェノール(ノボラック) エポキシ系	AkzoNobel	あり (海外)	230°C (連続205°C)	SS-3 -45°C~205°C
ルビゴール	フェノール エポキシ系	関西ペイント	- (試験施工中)	-	SS-2 -45°C~150°C
SIGMATHERM 230 /PPG HI-TEMP 230	フェノール エポキシ系	PPG Protective & Marine Coatings	-	230°C	SS-2 -45°C~150°C
CUJシャット	multipolymeric matrix	大日本塗料	- (2018年10月販売開始)	-185°C~540°C	SS-5 -45°C~650°C
HEAT-FLEX HI-TEMP 1200	multipolymeric matrix	SHERWIN WILLIAMS	-	649°C (1200° F)	SS-5 -45°C~650°C
該当なし	該当なし	中国塗料	-	-	-

外装板取付方法の最適化検討

1. 屋外配管の外装板施工時の留意事項

保温材下腐食の防止には外装板からの雨水の浸入を防ぐことが重要であり、外装板の施工状態に留意することで雨水浸入リスクを低減できる。施工時の留意事項を以下に示す。



水平配管のはげ掛け位置は、原則、水平から ±45° の位置とすること

	正しいやり方	間違ったやり方
水平部		

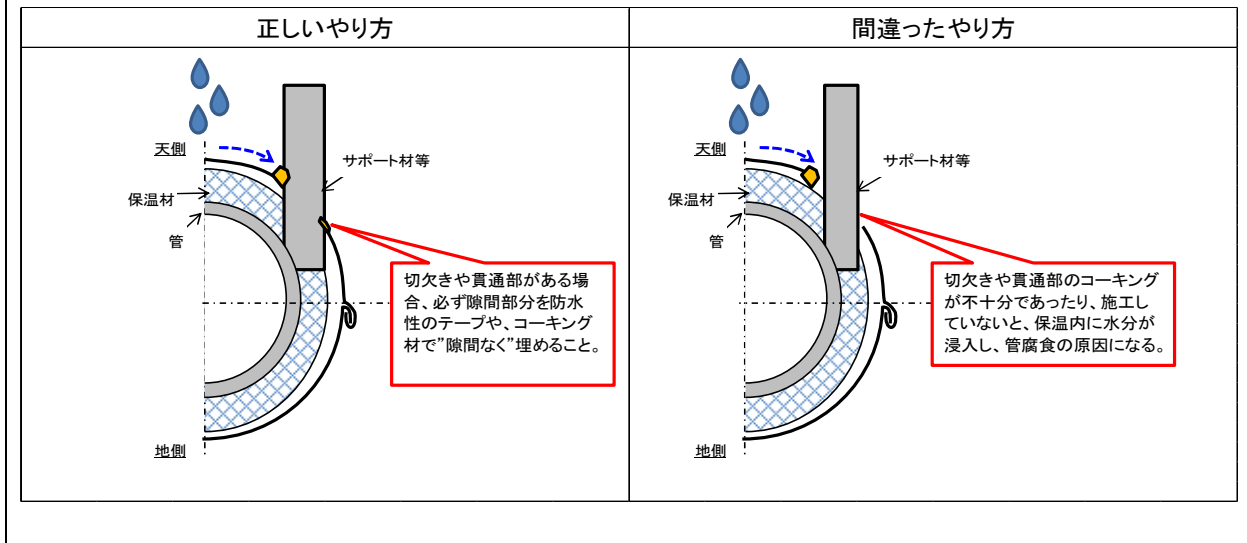
外装板重ね合せ部の外れ、緩み等がないようにすること

	正しいやり方	間違ったやり方
		<p>重合せ部が外れていると、開口から雨水等浸入しやすくなってしまいます。</p>

外装板の重ね合せ時は重ねる方向を間違えないこと

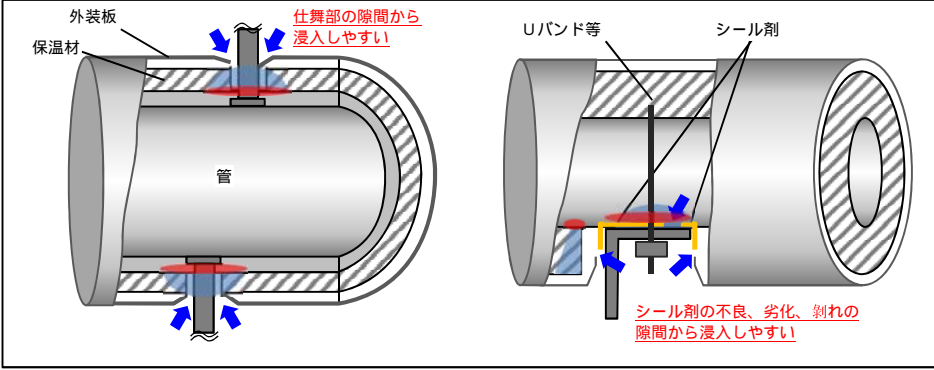
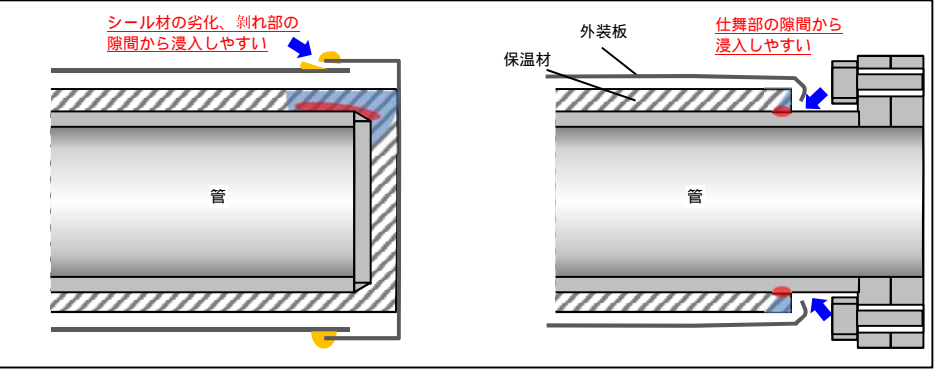
	正しいやり方	間違ったやり方

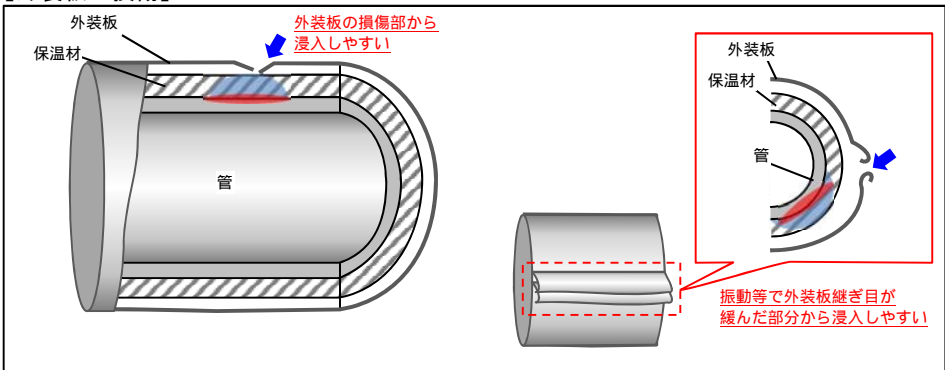
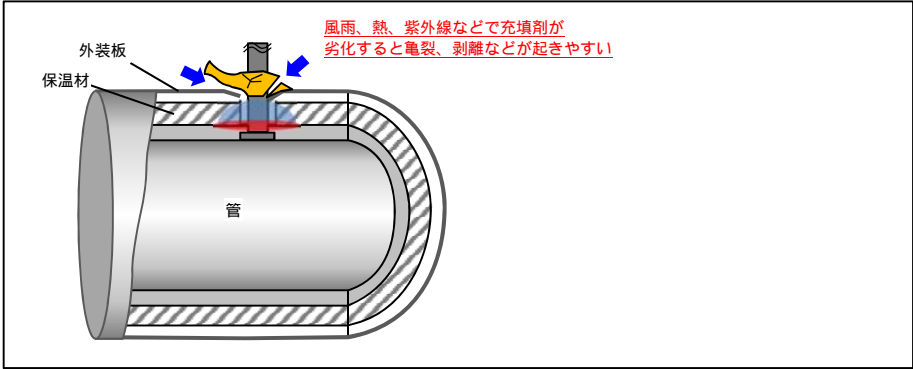
保温材及び外装板の貫通・切欠き部は充填剤を隙間なく充填すること



2. 保温材下腐食が発生しやすい箇所とその具体例

保温材の不連続部（継ぎ目）や、外装板の劣化・損傷個所が保温材内部に雨水が浸入しやすく、保温材下腐食が発生しやすい箇所である。保温材下腐食が発生しやすい箇所の例を以下に示す。

分類	代表例
保温材 不連続部	<p>【保温材及び外装板の貫通・切欠き部】</p>  <p>[具体例] ・ベント、ドレン部(上図参照)、 ・サポート取付け部(上図参照)、 ・ハンガー保持部、 ・パイプシュー取付け部、 ・ステージ(フロア)貫通部、 ・圧力容器ノズル部、 ・取り出し計装配管</p>
	<p>【保温材末端部】</p>  <p>[具体例] ・フランジ、付属品、 ・鉛直配管末端部、 ・保温材連結部防食不良箇所</p>

分類	代表例
劣化、損傷	<p>【外装板の損傷】</p>  <p>[具体例] <ul style="list-style-type: none"> ・外装板の損傷/破損、 ・外装板重ね合せ部の外れ、 ・はぜ掛け弛み部 </p>
	<p>【継ぎ目充填剤劣化】</p>  <p>[具体例] <ul style="list-style-type: none"> ・塗材の劣化(亀裂、剥離、防水性能劣化) </p>

3. 外装板取付方法の改善について

外装板の施工において継ぎ目からの雨水の浸入を防止する観点から、外装板の端部にコーキング材を使用するケースがあるが、化学プラント等においては、更なる雨水浸入防止策として外装板継ぎ目のコーキング箇所へのテープ施工を実施していることを確認し、必要に応じ当社においても実施することとした。図1に防食テープイメージ、図2に防食テープ施工イメージを示す。



図1 防食テープ^[1]イメージ

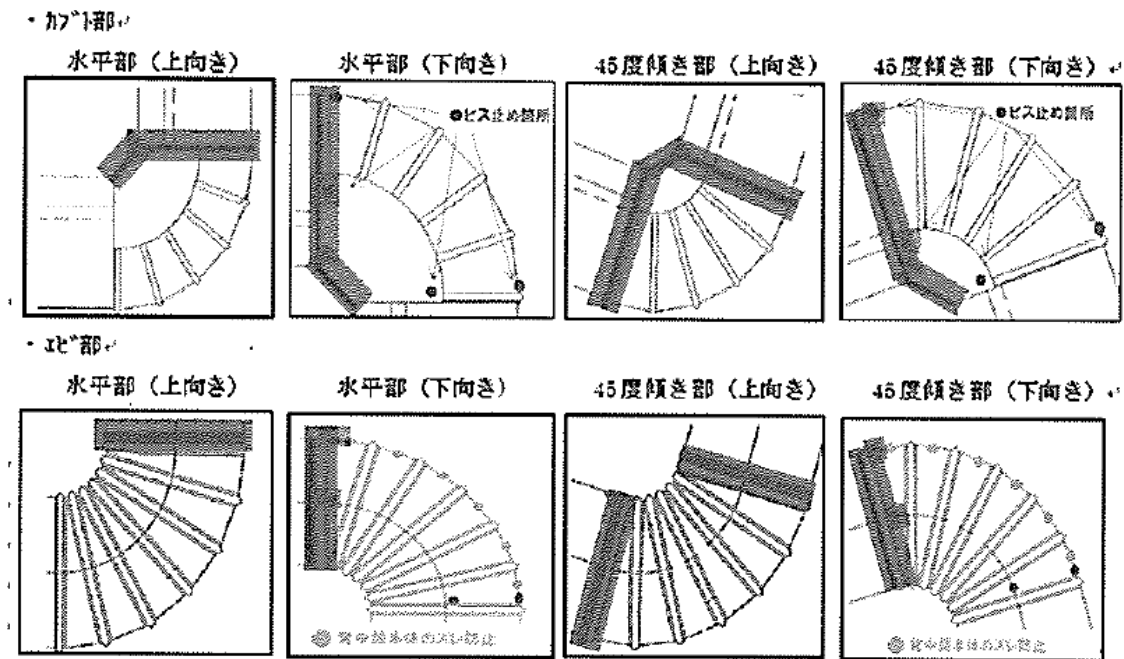


図2 防食テープ施工イメージ^[1]

出典

[1] 福田秀樹、外面腐食の目視検査及びシール材評価、第188回腐食防食シンポジウム、(2018)

作業管理要領（ 3 , 4 号 ）

（ 制 定 平成 1 5 年 1 1 月 1 日 ）
（ 最終改正 2 0 1 9 年 7 月 1 日 ）

九州電力株式会社
玄海原子力発電所

3.17 異物混入防止管理要領

機器の開放点検作業等、異物が混入する恐れのある作業を行う場合は、異物混入防止対策を別紙 24「異物混入防止管理要領」により行う。

3.18 計器校正シートの運用要領

計器校正シートの運用要領については、別紙 25「計器校正シートの運用要領」により行う。

3.19 危険物等取扱作業管理要領

危険物等取扱作業を行う場合は、別紙 28「危険物等取扱作業管理要領」により行う。

3.20 足場設置時の管理及び重要設備への標識掲示管理要領

構内で足場設置を行う場合は、別紙 29「足場設置時の管理及び重要設備への標識掲示管理要領」により行う。

3.21 使用済燃料ピット周辺における異物混入防止管理要領

使用済燃料ピット周辺で異物が混入する恐れのある作業を行う場合は、別紙 30「使用済燃料ピット周辺における異物混入防止管理要領」により行う。

3.22 屋外機器の保温施工時における注意事項

屋外機器の保温施工時の雨水浸入防止は、別紙 31「屋外機器の保温施工時における注意事項」により行う。

3.23 クレーン等の運転及び玉掛け作業の管理要領

クレーン等の運転及び玉掛け作業を行う場合は、別紙 32「クレーン等の運転及び玉掛け作業の管理要領」により行う。

4 試運転の実施

4.1 主要機器の試運転

主要機器の修理作業等に伴う試運転の場合、別紙 19「主要機器試運転要領」により実施する。

5 工事記録

5.1 工事記録

工事記録については別紙 20「工事記録管理要領」により行う。

6 定検時の助勢委託

6.1 委託要領

定検時の作業管理等について、当社が指定した組織に委託を実施する場合は別紙 21「定検時助勢委託要領」により行う。

7 保全計画への反映

7.1 保全計画への反映

定期修繕工事、補機計画整備工事及び日常整備業務委託等で得られた設備の情報については、別紙 26「特記事項・気付き事項の管理要領」により管理を実施し、必要に応じて保全計画への反映等を行う。

8 保全根拠書の作成・管理

8.1 保全根拠書の作成・管理

「保全根拠書」の作成・管理については、別紙 27「保全根拠書の運用要領」により行う。

作業管理要領 (3 , 4 号)

(添付資料)

2 . 作 業 実 施

別紙 1	作業要領書作成及び審査要領
別紙 1 - 1	作業要領書審査チェックシート
別紙 1 - 2	重要度分類一覧表
別紙 1 - 3	ホールドポイント
別紙 1 - 4	改良工事現地試験検査時のホールドポイント
別紙 1 - 5	必修作業手順書作成様式
別紙 1 - 6	必修依頼票作業着手前確認チェックシート
別紙 2	溶接士の資格区分及び作業範囲
別紙 3	非破壊検査員の資格区分及び作業範囲
別紙 4	クレーン等運転士の資格区分及び作業範囲
別紙 5	資格取得者管理要領
別紙 6	作業環境の整備
別紙 7	機器内部作業管理要領
別紙 8	溶接作業及び火気作業管理要領
別紙 9	S U S に使用する工具等の指定
別紙 1 0	電源系統設備必修作業時の安全管理要領
別紙 1 1	鍵運営管理要領
別紙 1 2	必修用通話装置運営管理要領
別紙 1 3	絶縁抵抗管理要領
別紙 1 4	プラント運転中の必修作業における立会項目について
別紙 1 5	他部門依頼工事チェックシート
別紙 1 6	作業用分電盤管理要領
別紙 1 7	内挿物取扱作業
別紙 1 8	使用済燃料空キャスク受入れに伴う取扱作業
別紙 1 9	主要機器試運転要領
別紙 2 0	工事記録管理要領
別紙 2 1	定検時助勢委託要領
別紙 2 2	計器校正の管理要領
別紙 2 3	点検状況記録シートの運用要領
別紙 2 4	異物混入防止管理要領
別紙 2 5	計器校正シートの運用要領
別紙 2 6	特記事項・気付き事項の管理要領
別紙 2 7	保全根拠書の運用要領
別紙 2 8	危険物等取扱作業管理要領
別紙 2 9	足場設置時の管理及び重要設備への標識掲示管理要領
別紙 3 0	使用済燃料ピット周辺における異物混入防止管理要領
別紙 3 1	屋外機器の保温施工時における注意事項
別紙 3 2	クレーン等の運転及び玉掛け作業の管理要領

屋外機器の保温施工時における注意事項

1 目 的

屋外機器の保温（外装板及び保温材）について、外装板の隙間から雨水等の浸入があれば、機器表面に錆の発生や損傷を引き起こす可能性があることから、保温施工時の注意事項を明確にし、保温内部への雨水侵入を防止することを目的とする。

2 適用範囲

以下の保守作業に対して適用する。

- ・屋外機器の保温施工作業（新規施工含む）

3 施工時の注意事項

（1）保温外装板施工時に係る注意事項

外装板施工時に外装板を損傷させないように注意すること。

外装板重ね合わせ部の外れ、緩み等がないようにすること。

水平部“はぜ掛け方向”は、上側をオーバーラップさせること。

垂直部の重ね方向は、上側をオーバーラップさせること。

小口径管エルボのひじ継ぎ加工は、上側をオーバーラップさせること。

（2）コーキング部施工時に係る注意事項

外装板継目部等の隙間には、温度、伸び量等を考慮し、必要に応じてコーキング材（シリコン系シール材等）によりシールを施工すること。

施工後、更にハンガー部、分岐部をコーキング材や防食テープ等により、雨水浸入防止対策を施工すること。

外装板及び保温材の貫通・切り欠き部に隙間なく充填すること。

非破壊検査方法に係る調査結果 (1 / 2)

検査方式	概要	技術分類	特徴	適するケース	適用に際しての課題
非破壊検査技術	<p>ガイド波超音波検査法</p> <p>一部保温材を外して取り付けられたリング状の受発信機により配管長手方向に伝搬する超音波を発信させ、一度に長距離範囲の配管全面を走査し、減肉の有無を検出できる遠隔検査技術</p>	<p>超音波によるスクリーニング</p>	<ul style="list-style-type: none"> 一部保温材取外しが必要 数 10m の配管長を一度に検査でき、長さ方向の位置を予測可能 足場不要にできる場合がある 円周方向の欠陥位置が推定できる方式もある 減肉の有無の確認 	<ul style="list-style-type: none"> アクセス困難な垂直配管や長尺配管に適す 	<ul style="list-style-type: none"> 配管全体の減肉状況の把握を目的としており、今回発生したような局所的な減肉を識別することは困難 内・外面の減肉識別は困難 構造変化部の先の検査は困難
	<p>近距離ガイド波超音波法</p> <ul style="list-style-type: none"> 管台サポートや構造物貫通部(例えばコンクリート貫通部)のようにアクセスが困難な箇所の調査が目的 この技術は単体のセンサーを検査対象手前に配し、1~2m 遠方の腐食状態を診断 	<p>超音波によるスクリーニング</p>	<ul style="list-style-type: none"> 保温材取外しが必要 目視で検査不能な欠陥を検出可能 センサーは接触媒質不要な方式もある 減肉量の評価が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 狭隘で目視検査困難な架台等との接触部を詳細検査したい場合に適す 	<ul style="list-style-type: none"> 管台やサポート部等の調査箇所を限定しての詳細検査として有効であるが、特定しない範囲の検査としては非常に時間を要す 内・外面の減肉識別は困難 センサーを接触させるため保温材取外しが必要 検査範囲は 0.4~2m 程度 塗装や表面凹凸の影響を受ける
	<p>パルス渦流磁気検査法</p> <p>電磁気を利用した渦流磁気検査法の一種で、パルス電流により高い磁界を与えることで保温材を被覆した状態のまま肉厚の減少を測定することが可能</p>	<p>渦電流によるスクリーニング</p>	<ul style="list-style-type: none"> 保温材カバー外面からの非接触検査可能 欠陥サイズを層別評価(メッシュ表示) 放射線のような管理が不要 減肉量の評価が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ある程度絞込まれた箇所周辺の粗い損傷評価を行い、更に範囲を絞込む場合 保温材が比較的薄く、配管径が大きい、大面積損傷の場合 	<ul style="list-style-type: none"> ある程度、調査箇所を絞込んでさらに減肉箇所を絞り込むには有効であるが、特定しない範囲の減肉状況を調査するには、非常に時間を要す スチームトレースや配管サポート、配管間隔小などは制約となる 全域を走査する必要があり、検査能率が悪い 内・外面の減肉識別は困難
	<p>放射線検査法</p> <p>放射線源に同位元素を用いてガンマ線を使用する場合と X 線源を用いる場合があり、その透過能により適用できる配管肉厚、外径範囲が決定</p> <p>放射線の透過量を検出する方式はフィルムのアナログ方式からイメージングプレート、ラットパネルディテクタ、半導体検出器等のデジタル化に移行しつつある</p>	<p>放射線による検査、スクリーニング</p>	<ul style="list-style-type: none"> 【デジタル放射線法】 保温材を取外さずに肉厚測定可能 内外面の両方の減肉量の評価が可能 デジタル方式は、フィルム方式に対して記録、解析処理性が向上 【リアルタイム放射法(自立またはレール移動型)】 マッピング表示が可能な方式もある 配管全体の欠陥をスキャンできる方式もある 【リアルタイム放射法(小型パルス X 線)】 小型軽量/電池駆動でスポット的な検査方式もある 【リアルタイム放射法(線量計プロファイル型)】 小型軽量で管軸/円周方向に手動走査が可能な方式もある 	<ul style="list-style-type: none"> 対象部位の保温材を取外さずに損傷評価をした場合 複雑な分岐がある配管の詳細な検査の場合 スクリーニング検査で直管の欠陥部の図を得たい場合 複雑小径配管のバルブ、ノズル、ゲージ等のスポット的検査用 簡易に小径管の内外面の損傷したい場合 小範囲を連続的にスクリーニングした場合 	<ul style="list-style-type: none"> ある程度、調査箇所を絞込んでさらに減肉箇所を絞り込むには有効であるが、特定しない範囲の減肉状況を調査するには、非常に時間を要す 放射線を取り扱うことから、現地の実作業では、管理上の問題、他工事との工程調整等、十分な検討が必要 測定可能な配管口径が限定される方式もある 放射線の届出、管理区域等の管理が必要 内・外面の減肉識別は困難な方式もある 現場向けの可搬式線源は、板厚 30mm 程度が限界 照射方向によっては減肉箇所を確認できない可能性あり

非破壊検査方法に係る調査結果 (2 / 2)

検査方式	概要	技術分類	特徴	適するケース	適用に際しての課題
非破壊検査技術	ドローンカメラによる遠隔目視検査	ドローンカメラ (可視光と赤外線 の両方)による スクリーニング	・保温材の取外しが不要 ・人間の目視では不可能な高度、角度からの検査が可能	・目視では見えない領域の 外観検査	・原子力発電所内においては、安全管理の問題から適用においては十分な検討が必要 ・保温材内の水分量が配管外面減肉とは直接結びつかないため検査としては使用し難い ・ドローン操作には専門技量が必要
	低周波電磁誘導法	漏れ磁束による保温材下腐食の直接検査	・保温材取外しが必要、塗膜下の腐食も検出可能 ・表面状態の影響を受けにくく、超音波のような入射のための接触媒質が不要 ・配管内の介在物に影響を受けにくい ・減肉量の評価が可能	・腐食が顕在化した後の定期的な状態監視	・保温材を外す必要があることから、特定しない範囲の減肉状況の調査には適さない ・予め校正曲線が必要
	ポータブルハンディ3D スキャナー	レーザー反射光による保温材下腐食の直接検査	・保温材取外しが必要 ・レーザー光のため超音波のような入射のための接触媒質が不要 ・減肉量の評価が可能	同上	・保温材を外す必要があることから、特定しない範囲の減肉状況の調査には適さない ・予め基準となる反射テープが必要 ・内面の減肉は計測不可
	テラヘルツ波法	テラヘルツ波による保温材下腐食の直接検査	・保温材取外しが必要 ・テラヘルツ光のため超音波のような入射のための接触媒質が不要 ・塗膜下の腐食の検出も可能 ・減肉の有無の確認	同上	・保温材を外す必要があることから、特定しない範囲の減肉状況の調査には適さない ・現状では腐食の有無は検知できるが腐食量の評価は困難
	薄膜 UT 法	超音波による直接連続モニタリング	・薄くかつ可撓性があり現状約 200℃までの連続肉厚モニタリングが可能 ・運転中においても保温材内側に常設し配管の連続肉厚モニタリングを実施	・初回のみ保温材取外しが必要 ・連続した減肉量の評価が可能	同上
水分測定技術	中性子水分計	中性子によるスクリーニング	・保温材取外しが不要 ・測定時間は 1 箇所数秒、現場で水分滞留の判断可能	・水分の侵入が予想される箇所を運転中にスポット的な状態監視方法として有効	・保温材内の水分量を測定する検査方法であり、配管外面減肉とは直接結びつかない ・雨天、保温材の水素含有量、保温材厚さが影響 ・測定範囲は 100×100mm 程度で広範囲の測定には時間を要す ・放射線管理手続き、管理を要する ・アーム付きで 5m 以下の高所配管は足場無しで測定可能であるが、それ以上は足場を要する ・専門技能員による測定が必要
	赤外線サーモグラフィ	赤外線サーモグラフィによるスクリーニング	・保温材を取り外さずに保温材の断熱性能劣化や水分の存在を検知 ・放射線管理が不要	同上	・保温材内の水分の存在を検知する検査方法であり、配管外面減肉とは直接結びつかない ・表面の濡れや温度、太陽光の反射が影響

屋外配管の点検、塗装前後（脱気器連絡蒸気管の例）

点検時（塗装前）



点検後（塗装後）



空気抜き管のステンレス鋼への取替前後の例

取替前（炭素鋼）



取替後（ステンレス鋼 / 溶接部塗装前）



空気抜き管のステンレス鋼への取替前後の例

取替後（ステンレス鋼 / 塗装後）



取替後（ステンレス鋼 / 保温材、外装板施工後）



屋外配管に施工する塗装材

屋外の外装板及び保温材を施工している配管については、4 定期検査毎の外装板及び保温材取替えにより雨水の浸入防止が図られるが、万一、雨水が外装板内へ浸入した場合でも、配管の外面腐食等を防止することが重要である。

そのため、塗装材を配管自体に施工することが外面腐食等に有効であるため、使用実績や保温材下腐食抑制効果が確認されている以下の塗装材を施工する。

配管材質	使用環境 / 温度(目安)	塗料名	メーカー
炭素鋼	150 ~ 600	パイロジン LL600	大日本塗料
	180 ~ 300	パイロジン LL300	大日本塗料
	100 ~ 180	パイロジン LL200	大日本塗料
	50 ~ 100	ジンクプランマーR・HB	ジャパンコーポライ
		ZP プライマー無鉛	大日本塗料
		グリーンズボイド速乾下塗	大日本塗料
		ゼッタール EP-2HB	大日本塗料
ステンレス鋼	100 ~	サーマライン 4674	ジャパンコーポライ
	50 ~ 100	テンガードプライマー	ジャパンコーポライ
		エポニックス#10、 V トップ H スマイル	大日本塗料
		エポニックス#10、 V フロン#100H スマイル	大日本塗料

50 以下の配管については、玄海3号機脱気器空気抜き管にて発生した保温材下腐食（炭素鋼）及び応力腐食割れ（ステンレス鋼）の懸念は少ないが、腐食等の防止のため、必要に応じ、塗装材を施工する。

平成 30 年 7 月
九州電力株式会社

玄海 3 号機 脱気器空気抜き管の調査結果について

1. はじめに

3B 脱気器の第 5 空気抜き管（以下「当該管」という。）に確認された貫通孔については、外面・内面点検の結果から雨水の浸入による外面腐食が発生原因と考えられる。しかしながら、更なる取組みとして、当該管に関する知見を有効活用するため、当該管の断面観察等の調査を実施した。

2. 断面観察等の調査結果及び考察

(1) 調査内容

当該管及び当該管貫通孔に接していた保温材の付着物（以下、「保温材付着物」という。）について、以下の調査を実施した。

調査項目	調査内容	調査対象	
		当該管	保温材付着物
外観観察	減肉状態や付着物等の状況を目視確認する。		
肉厚測定	ノギスによる肉厚測定で、周方向、長手方向の減肉分布を確認する。		-
断面マクロ及びミクロ組織観察	貫通孔を含む断面の観察により、貫通孔の形状、減肉の様態、材料組織的な特徴を確認する。		-
硬さ測定	ビッカース硬さ試験を行う。		-
電子線マイクロアナライザによる成分分析	当該管の簡易的な材質確認並びに貫通孔近傍の付着物及び保温材付着物の成分を確認する。		
X 線回折によるスケール / 付着物分析	貫通孔近傍のスケール及び保温材付着物の化学形態分析を実施する。		
材料分析	当該管から試料を採取し、JISに定める方法で定量的な化学成分分析を行う。		-

(2) 調査結果

a. 外観観察の結果

当該管外面は、全体が黒褐色及び赤褐色のスケールで覆われており、貫通孔付近においては外面から局所的に減肉していた。また、当該管内面は、黒色のスケールに覆われ、貫通孔近傍では、周囲よりやや赤い色調のスケールとなっていた。

保温材付着物については、貫通孔に近い部分が黄褐色であり、貫通孔に接していたと推定される部分は黒褐色となっていた。

b. 肉厚測定の結果

周方向、長手方向の肉厚を測定し、貫通孔付近において、有意な減肉が確認された。

c. 断面マクロ及びミクロ組織観察

貫通孔付近は、貫通孔に向い外面から段々に減肉していた。一方、内面側では、外面側に認められたような減肉は認められなかった。

また、貫通孔辺縁部では、残存厚さがほぼ全てスケール化していることが確認された。

d. 硬さ測定

ビッカース硬さ試験の結果、炭素鋼の硬さとして一般的な水準であった。

e. 電子線マイクロアナライザによる成分分析

当該管外面のスケールには、O、Fe が高濃度に検出され、スケールが鉄の酸化物であることが確認された。また、腐食成分の Cl はスケール内全体に認められたが、金属とスケールの境界付近で特に高濃度に存在していた。

一方で、当該管内面のスケールには、O と Fe が主に確認された。

保温材付着物については、O と Fe の他に、Cl と Na も有意な量が確認された。

f. X線回折によるスケール/付着物分析

当該管のスケールは、主として鉄の腐食生成物であるオキシ水酸化鉄やマグネタイト、ヘマタイトからなることが確認された。また、腐食成分の Cl も確認された。

オキシ水酸化鉄は黄色から褐色、ヘマタイトは赤褐色、マグネタイトが黒色を呈することから、外観観察の結果と合わせれば、配管外面の大部分を覆う黒色スケールはマグネタイト、赤褐色の箇所はヘマタイトやオキシ水酸化鉄の混合物であると推定される。

保温材付着物は、主にオキシ水酸化鉄、マグネタイトからなることが確認された。また、海塩粒子等に由来すると考えられる Cl 等も確認された。

g. 材料分析

材料の成分は、JIS の規格値を満足することが確認された。

(3) 考察

断面観察の結果、当該管外面から貫通孔に向い段々に減肉していたが、内面からは減肉が認められなかったため、外面から腐食が進展したと考えられる。

貫通孔における配管外面のスケールに鉄の腐食生成物であるオキシ水酸化鉄及びClが存在し、さらに、Clは金属とスケールの境界付近で特に高濃度に存在していたことから、貫通孔の腐食進展にはClが関与したと考えられる。

貫通孔において外面から局所的に減肉していたこと、及び当該管外面のスケールにマグネタイトが存在したことから、雨水の浸入により、保護性のマグネタイト皮膜が配管外面に形成されたものの、長期間腐食環境にさらされたことからマグネタイト皮膜の薄い部分から局所的に腐食が進展したと考えられる。

上記 ～ を踏まえると、海塩粒子等に由来するClが雨水と共に浸入し、当該管の外面から腐食が局所的に進展し、貫通に至ったと推定される。

以上