第２回原子力委員会
資　料　第　４　号

平成２１年１月１３日
日本原子力研究開発機構

高速増殖原型炉もんじゅ
屋外排気ダクトの腐食孔の原因と対策について

高速増殖原型炉もんじゅ（定格出力28.0万kW）は、現在停止中であるが、９月９日１５時３０分頃、原子炉補助建物の屋上に設置している排気ダクト*1の計画的な外面腐食補修のため、鋼板塗装などの作業を行っていたところ、当該排気ダクトに腐食孔(横約2cm、縦約1cm)があることを確認した。

このため、応急措置として、同日１５時４０分頃にアルミ材の補修テープにより排気ダクトの腐食孔を塞ぎ、排気の漏れをとめた。

【平成２０年９月９日お知らせ済み】

その後、状況調査及び原因調査を実施するとともに、再発防止対策を検討してきた。

これらの結果を取りまとめ、１月９日、原子力安全・保安院に報告した。詳細は添付資料のとおり。

以　上

*1:管理区域内の排気を排気筒に導くダクト
（断面寸法；約2.5m×約2.5m　厚さ；6mm　材質；炭素鋼）

添付資料：高速増殖原型炉もんじゅ屋外排気ダクト
　　　　　の腐食孔の確認について（原因と対策）

平成21年1月9日

高速増殖原型炉もんじゅ
屋外排気ダクトの腐食孔の確認について（原因と対策）

平成20年9月9日、原子炉補助建物の屋上に設置しているアニュラス循環排気装置の屋外排気ダクトに腐食孔を確認したことから、状況調査及び原因調査を行い、原因と対策を取りまとめた。

1.事象発生の状況

建設中（低温停止中）の高速増殖原型炉もんじゅ（以下、「もんじゅ」という）において、原子炉補助建物の屋上に設置しているアニュラス循環排気装置主配管*1（以下、「屋外排気ダクト」という）の計画的な補修塗装のため、屋外排気ダクト全体のケレン作業（バフ掛け等の作業で錆が発生している箇所は錆を除去し、塗装が健全な箇所については、塗膜表面の目荒しをすることにより、塗料の接合性を良くする）を行い、錆を除去した箇所の下地塗装を行っていたところ、平成20年9月9日 15時30分頃、屋外排気ダクトに腐食孔（縦約1cm、横約2cm）があることを確認した。

このため、15時40分頃にアルミ材の補修テープにより屋外排気ダクトの腐食孔を塞ぐ応急処置を行った。

その後、腐食孔部は原因調査のためサンプル切り出しを行い、切り出した箇所は外面から鋼板による当て板（以下、「当て板」という）をベロメタル*2で固定した。

また、腐食孔部を切り出した際、内面を観察したところ、腐食孔の位置から左側の位置に錆のたれた痕を確認した。錆たれ部についても、原因調査のためサンプル切り出しを行い、切り出した箇所は内面から当て板をベロメタルで固定した。

*1：アニュラス循環排気装置主配管のうち、屋外に設置しているダクト部分。原子炉格納容器内、アニュラス部及び燃料取扱設備室など管理区域の排気を排気筒に導く排気ダクト

*2：冷間溶接材

2.状況調査

2.1 外観点検の結果

屋外排気ダクトについて、外面の外観点検を実施した結果、腐食箇所を確認した。

ダクト内面の外観点検を実施した結果、一部上塗り塗装の欠落は認められたものの錆の発生はなく健全な状態であった。

2.2 肉厚測定の結果

屋外排気ダクトについて、超音波厚さ計による肉厚測定を実施した。

肉厚測定の結果、上面の雨水が溜まり易い箇所、並びに補強材及び支持架構の取付部とその直近において、減肉が確認された。

切り出したサンプル2箇所を除き、最小肉厚は1.8mmであり、技術基準*3にて

要求される必要厚さ（1.2mm 以上）を満足していることを確認した。

*3：ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準（以下、「技術基準」という）

3.原因調査

原因調査として、設備面では材料、環境条件、構造、塗装等について、また、保守管理面からも調査を行った。

4.推定原因

4.1 設備上の原因

(1) 屋外排気ダクト全体

①屋外排気ダクトは、沿岸部の屋外に設置されているため、外面は塩害腐食の発生しやすい環境下にあった。

②補強材は、断続すみ肉溶接で取り付けられていること、及びダクトと支持架構は、断続すみ肉溶接で固定されている箇所と固定されていない箇所があることから、ダクトと補強材及び支持架構のすき間に雨水が浸み込む構造となっていた。

③補強材等の断続すみ肉溶接部は構造が不連続となることから、平滑面に比べて塗装状態が悪く、塗装劣化の発生の可能性が高いと推定される。

④補強材等は突起物となっていることから、それらの直近は、平成 11 年の全面補修塗装時に錆の除去が不完全な状態で塗装された可能性がある。

(2) 腐食孔部及び錆たれ部周辺

①腐食孔部及び錆たれ部周辺は、2 本の支持架構が近接し、壁面を流れ落ちる雨水が停滞しやすい場所であった。

②停滞した雨水は、レインフードに外側への傾きがなかったことから、ダクト周辺に溜まる状態となった。

③腐食孔部及び錆たれ部に近接する水平の支持架構の内部には、未溶接部から雨水が入り込み停留し、雨が止んだ後も直下の溝形鋼に滴下する状況を形成した。

④溝形鋼には、平成 11 年に、停留した水を抜く穴が開けられており、近接したレインフード上に継続的に水が供給される環境となった。

⑤腐食孔部及び錆たれ部は日陰にあり、蒸発しにくくなっていたものと推定され、極めて長時間湿潤雰囲気にさらされる環境となり、腐食が進行した。

(3) 腐食孔部及び錆たれ部以外

①ダクト上面

雨水が補強材等で囲まれた範囲に溜り、降雨後数時間から数日で蒸発して、乾湿が繰り返される環境にあった。その乾湿により海塩成分や雨水中の不純物の濃縮と希釈の繰り返しがあったものと推定される。

②ダクト側面

降雨時に補強材等に沿って流下する雨水にさらされる環境にある。流下

雨水の勢いによっては、断続すみ肉溶接部に衝突、周辺の塗膜面の劣化を促した可能性がある。

③補強材及び支持架構の取付部

補強材及び支持架構は断続すみ肉溶接で取り付けられており、雨天時には補強材等とダクトとのすき間に雨水が浸み込む可能性が高い。このため、晴天後も容易に乾き難い環境を形成するとともに、すき間部分の錆進行に伴い、内部の腐食部への酸素供給は制限される雰囲気であったと推定される。

4.2 保守管理上の原因

〔計画〕

①平成 3 年から平成 16 年 5 月までは、点検周期、点検項目については定めていなかった。平成 16 年 6 月以降、屋外排気ダクトについては、点検周期の目安（外観点検 1 年毎、肉厚測定 5 年毎）があったが、年度毎の保全計画に反映していなかった。

②年度毎の保全計画を策定するための作成・管理方法を定めていなかった。

③設備健全性確認計画書に基づく屋外排気ダクトの作業計画では、「目視にて、最も減肉した箇所の肉厚を測定する」という方法が、作業計画の段階で実効性ある作業計画になっていなかった。

〔実施〕

①平成 3 年から平成 18 年までの点検・補修では、平成 10 年の塩害の調査、平成 11 年の全面補修塗装を除き屋外排気ダクトの点検・補修は実施していなかった。また、平成 11 年の全面補修塗装では、全面補修塗装のみで肉厚測定は実施しなかった。

②平成 19 年 12 月に屋外排気ダクトの上面（6 箇所）と下面（1 箇所）の肉厚測定を行ったが、最も減肉した箇所を特定する方法が適切ではなかったため、側面の当該腐食孔にあたる部位を肉厚測定箇所としなかった。

③保修票運用手順書では、静的機器であっても性能に影響する場合は保修票を発行する基準となっているが、錆についての具体的な発行基準は定めていなかったため、屋外排気ダクトについては、保修票を発行していなかった。

④プラント第 2 課の巡視点検対象設備の選定に対する考え方を明確にしていなかったため、安全上重要な設備である屋外排気ダクトが点検対象となっていなかった。

⑤安全パトロール*4 の指摘を、その後の保全活動（保修票発行）に結びつける明確な仕組みがなかった。

*4：当機構の職員と、もんじゅ構内で作業等を行う業者との間で、安全衛生の意識高揚と災害防止等をはかることを目的に設置された協議会組織によるパトロール

〔評価・改善〕

①平成 11 年当時は、点検結果を評価・改善するルールがなかったため、全面補修塗装の点検結果についての評価がなされなかった。そのため、平成 12

年以降の年度毎の保全計画では、屋外排気ダクトの点検が計画されなかった。また、保守管理の定期的な評価の方法を具体的に定めたルールがなかった。

②平成19年12月に屋外排気ダクトの肉厚を測定した数ヶ月後に保修票を発行しており、対応が遅れた。

③この際、不適合報告書を発行すべきであったが、当時の「不適合管理要領」では、不適合管理の要否は処置担当課長のみの判断であり、要否の確認が十分ではなかった。

5.対策

5.1 当該面の処置

腐食孔部及び錆たれ部の調査のためサンプルを切り出した開口部2箇所については、屋外排気ダクトの内面から当て板をすみ肉溶接で取り付ける。当て板外面に対しては、コーキング材などで雨水の浸入防止を図る。

5.2 再発防止対策

(1) 設備上の対策

〔恒久対策〕

屋外排気ダクトについては、40%出力プラント確認試験の開始前までに全体取り替えを行う。

全体取り替え時には、次の構造上の対応を検討する。

・ダクトと補強材等との接合面への雨水の浸入防止
・雨水が溜まらない構造（ダクト上面、レインフード、上向の溝形鋼）
・支持架構内部への雨水の浸入防止
・ダクト上面の点検を容易にするための措置

なお、今後、屋外排気ダクトの補修塗装を実施する場合には、下地調整において、錆が除去されていることを確認する。

〔短期的対策〕

①腐食が確認された箇所のうち、厚さが4.0mm未満*5の範囲については、当該面と同様に、屋外排気ダクトの内面から当て板をすみ肉溶接で取り付ける。当て板の枚数は、現状で120枚程度を計画しているが、今後の詳細設計の過程で枚数を確定する。

②当て板による補修作業は、耐震強度評価を行い、国による許認可手続きを経て、実施する。

③雨水の浸入防止を図るため、補強材とのすき間（断続溶接部を含む）については、外気と遮断するようにFRP材（繊維をプラスチックの中に入れて強度を向上させた複合材）で塞ぐ。

④支持架構とのすき間は、コーキング材などで雨水の浸入防止を図る。

⑤雨水により継続的に湿潤状態となる箇所については、レインフードに傾斜を設けるとともに排水管等を設置して、屋外排気ダクト外面が継続的に湿潤しないように処置する。また、支持架構内部への雨水浸入については、コーキング材などで、雨水の浸入防止を図る。

⑥恒久対策までの間は、肉厚測定の頻度は最初の3ヶ月間は毎月、その後

の測定結果の傾向を見て決定するが、3ヶ月を超えない期間ごとに測定する。

肉厚測定は、代表的な箇所の肉厚測定を実施し、最小厚さ（2.0mm）を満足していることを確認する。代表的な箇所については、当て板をしない部位から、肉厚の薄い箇所を選定する。

⑦FRP材やコーキング材を施さない屋外排気ダクト外面は、全面補修塗装を実施する。また、下地調整において、錆が除去されていることを確認する。

*5：技術基準で要求される必要厚さ（管の長径に応じて定められた管の厚さ：1.2mm）に対し、耐震上必要な厚さに裕度を考慮して、最小厚さを2.0mmとする。更に、錆が除去できないダクトの補強材等との接合面における腐食の進行を2.0mm/年（海岸近傍の炭素鋼の腐食（最大500～600μm/年）に加え、海水中の孔食（約1mm/年）や海水飛沫部の腐食（約890μm/年）を含めても十分保守的な腐食速度）と想定したうえで、最小厚さ2.0mmを満足させる値として4.0mmとした。

(2) 保守管理上の対策

〔計画〕

①屋外排気ダクトについては、1年毎の外観点検を実施し、塗装状況と発錆状況を確認する。その際に塗膜の劣化を確認した場合は、補修塗装を実施する。また、発錆している場合は錆を除去し、減肉していれば肉厚測定を実施する。

なお、点検項目及び点検周期については、「保守管理要領」の下位文書で明確にし、年度毎の保全計画に反映する。

②年度毎の保全計画の作成・管理、予算資料作成に関するマニュアルを作成する。

③肉厚測定方法について作業計画の段階で内容を具体化するようにマニュアルを作成する。

〔実施〕

④プラント第1課の巡視点検について、腐食についても留意し保修票を発行するよう改善する。

⑤屋外排気ダクトについてはプラント第2課の巡視点検対象とする。また、巡視点検対象の選定に関するマニュアルを作成する。

⑥安全パトロールの指摘のうち、設備上の補修が必要なものについては設備所掌課から保修票を発行する。

〔評価・改善〕

⑦「提案推奨改善管理マニュアル」に、その後の年度毎の保全計画へ反映することを記載する。また、保守管理の定期的な評価の方法を具体的に定めたマニュアルを整備する。

⑧「保修票運用手順書」にて、保修票発行基準を「点検作業において、工事要領書または仕様書にて、あらかじめ部品の取替えを計画している場合以外で建物、設備等が正常でない状態においては保修票を発行する」

と改正し、速やかに保修票が発行されるよう運用している。

⑨不適合管理委員会を設け、保修票が発行された案件については不適合管理の要否を同委員会で判断する仕組みに改善し、運用している。

6.水平展開

①屋外機器で炭素鋼を使用している安全上重要な設備のうち、排気筒については外観点検及び腐食部位の肉厚測定を実施し、健全性を確認する。なお、原子炉補機冷却海水系については、既に実施している点検結果により、健全性を確認した。

②上記の設備及び屋外機器で炭素鋼を使用している設備*6 の点検項目及び点検周期については、「保守管理要領」の下位文書で明確にし、保全プログラムに反映する。

*6：アルゴンガス供給系、窒素ガス供給系、ナトリウム・水反応生成物収納設備及び蒸気タービン附属設備

③これまでの安全パトロールの指摘のうち、設備上の補修が必要なものについては保修票を発行するよう対応している。

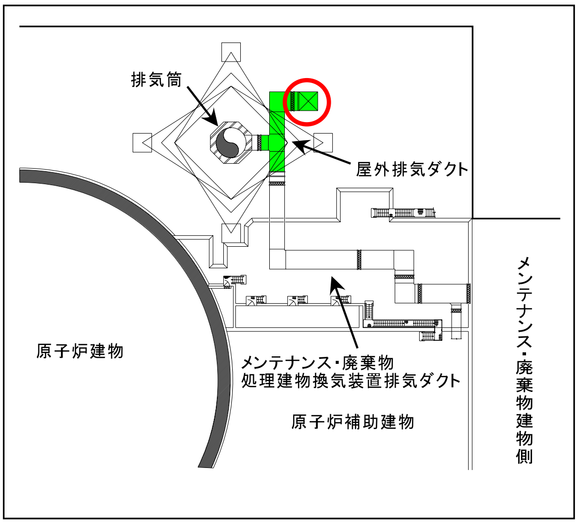
④保修票が不適合管理要領に取り込まれた平成 18 年 2 月 22 日から、不適合管理委員会設置までの平成 20 年 6 月 19 日までの期間において、保修票発行事象を調査し、不適合管理するべき事象については、不適合管理を実施するよう対応している。

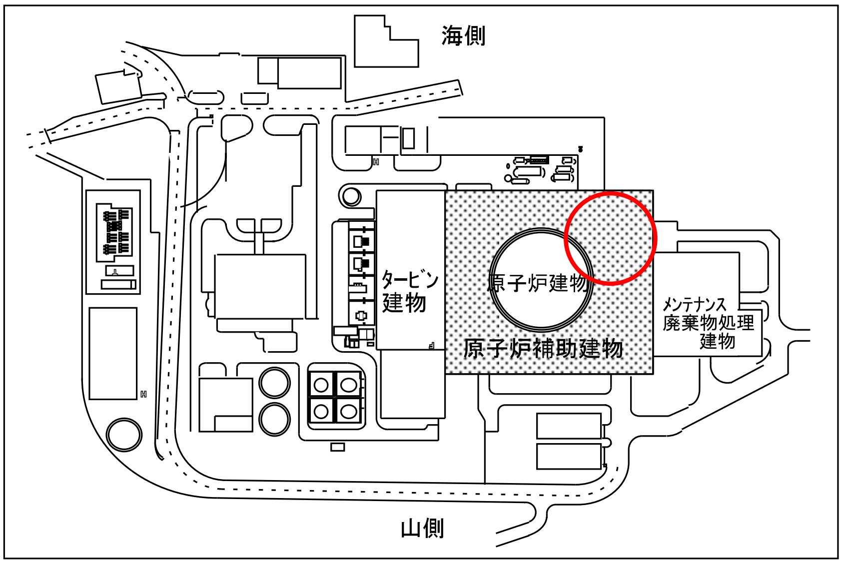
7.その他

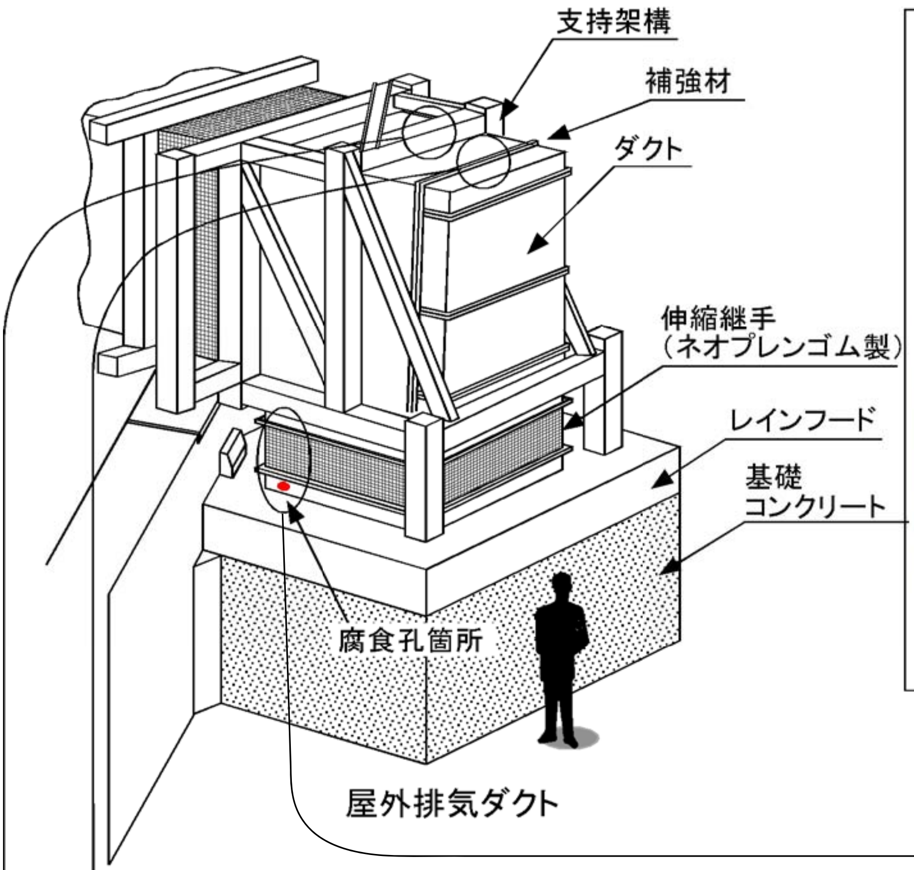
今回の屋外排気ダクトの腐食孔の発生については、もんじゅの保守管理に係る共通の背景要因があるとの認識に立ち、根本原因分析を実施している。根本原因分析では、「なぜ、腐食孔が発生するまで保守管理がなされなかったか（なぜ、未然に防止できなかったか)」の観点から、背景にある組織・体制上の要因や安全文化に関する要因の抽出と対策の検討を行い、その結果を必要に応じ「高速増殖原型炉もんじゅに係る平成２０年度第１回保安検査（特別な保安検査）における指摘に対する改善のための行動計画について（平成 20 年 7 月 31 日)」に反映するとともに、今後のもんじゅの保守管理及び運営管理に反映する。

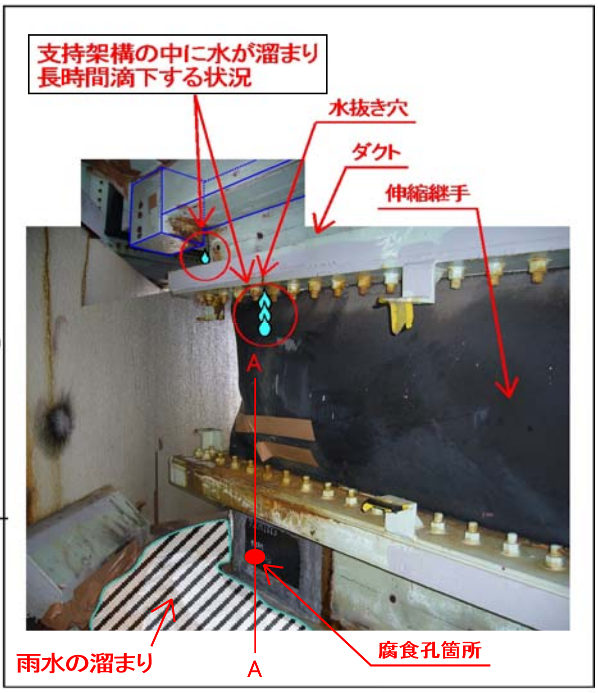
以　上

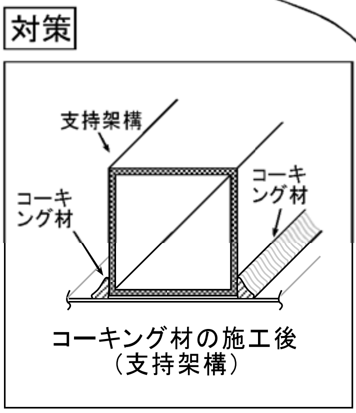
屋外排気ダクトの腐食孔の確認について（原因と対策）

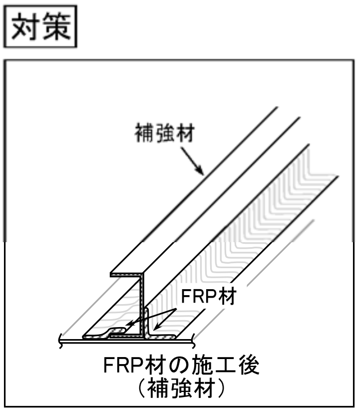


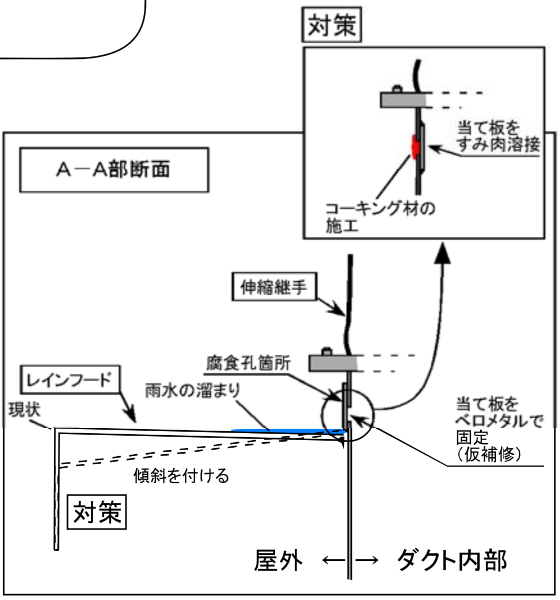










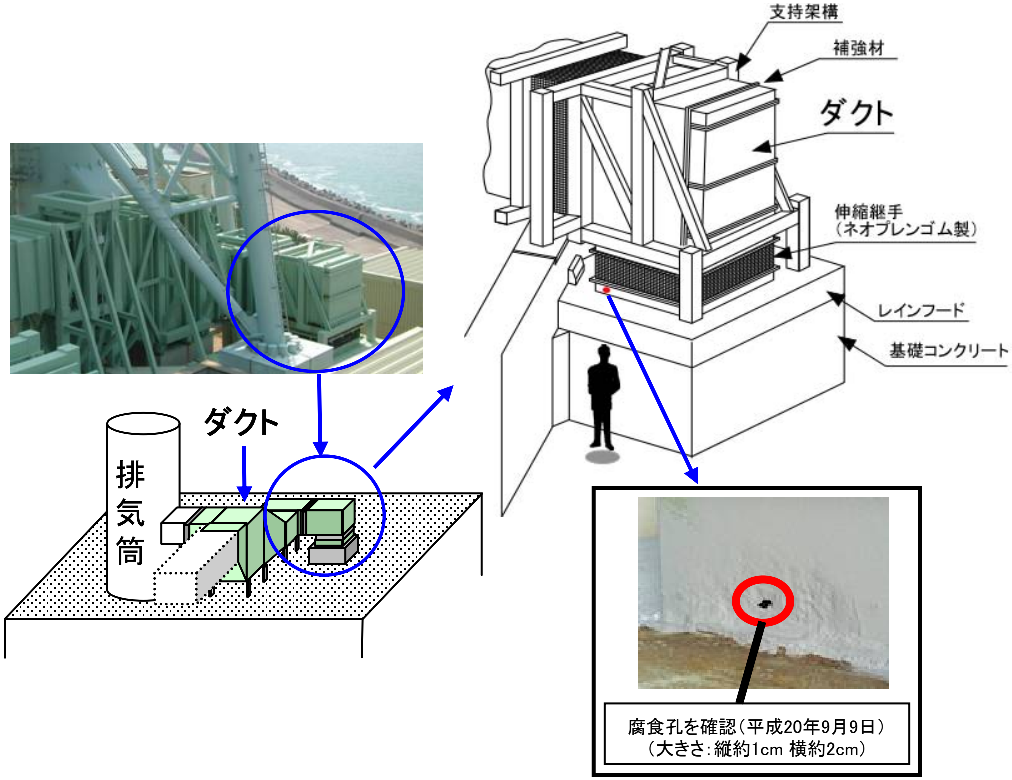


屋外排気ダクトの腐食孔への対応について

発 生 状 況

○平成20年9月9日、屋外排気ダクトの計画的な補修のため、当該ダクトの塗装などの作業を行っていたところ、当該ダクトに腐食孔（縦約1cm、横約2cm）を確認した。

○腐食孔部を切り出したサンプル調査の結果、外面から減肉しており、減肉部の表面に塩素及び酸化物が認められた。



腐食孔を確認（平成20年9月9日）
（大きさ：縦約1cm 横約2cm）

発 生 原 因

○屋外排気ダクトの腐食孔（原因調査でさらに1箇所を確認。計2箇所）の周辺は、塩害腐食の発生しやすい環境に加え、構造上雨水が停滞しやすく、日陰にあるため、極めて長時間湿潤雰囲気にさらされる環境となり、腐食が進行したものである。

○平成2年設置後、平成11年に全面補修塗装した以降、平成19年12月まで計画的な点検は実施していなかった。

○巡視点検の対象としていなかった。

○平成19年度12月に点検を実施しているが、腐食孔部の肉厚測定を実施していなかった。

対　　策

○ダクトに対する当面の措置として、当該腐食孔部や減肉が確認された所について、ダクトの裏側から当て板で補修する短期的対策を行う。

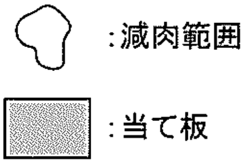
○更に長期的な観点から 出力運転を開始する40%出力プラント確認試験前までに、当該ダクトの全面取替えを実施する。

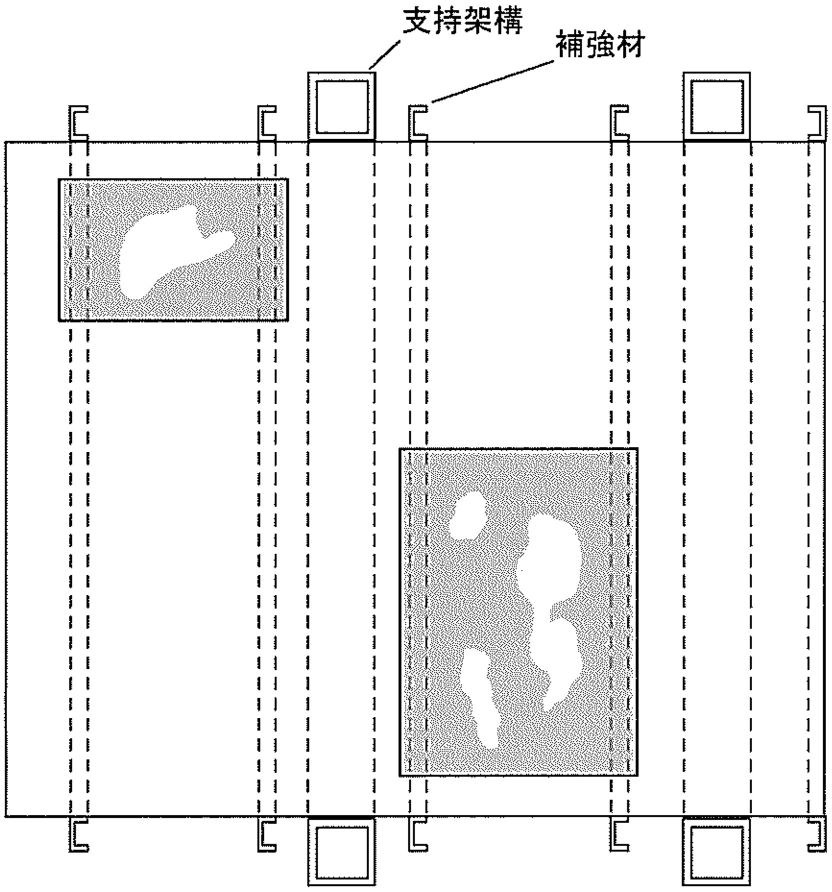
○ 1年毎の外観点検の実施を年度の保全計画に定める。

○巡視点検の対象に屋外排気ダクトを含める。

○保守管理の具体的な方法（肉厚測定、保全計画への反映等）を策定する等。

減肉範囲と当て板イメージ図

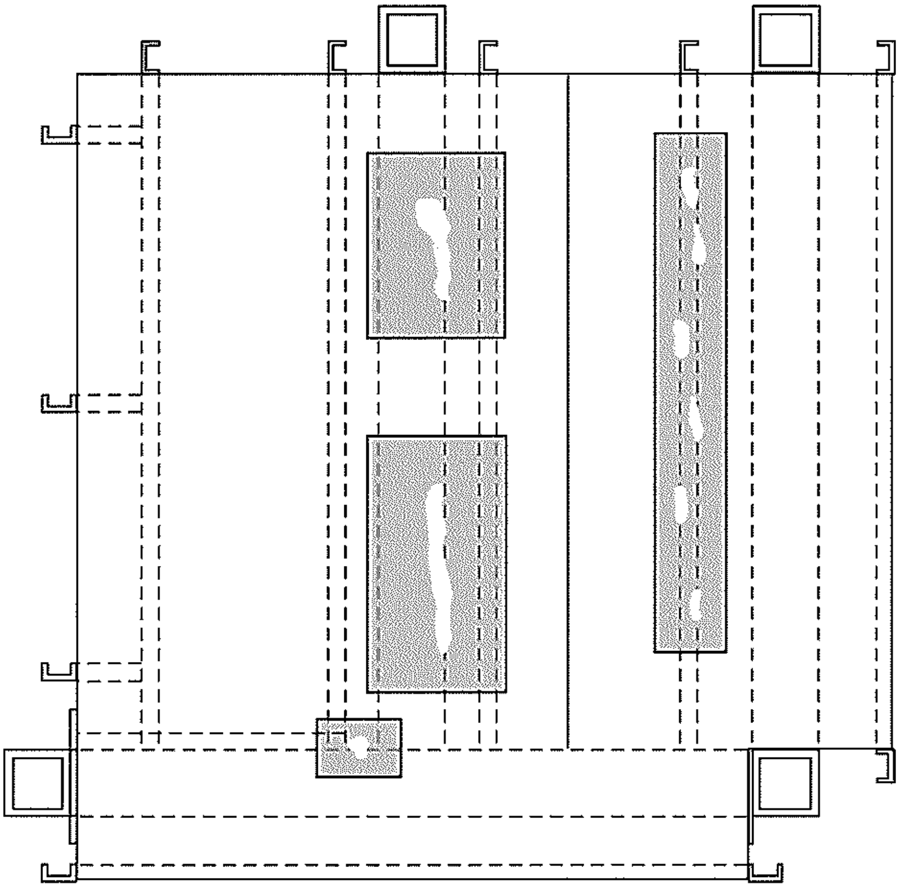




ダクト上面

ダクト上面

雨水が補強材等で囲まれた範囲に溜り、降雨後数時間から数日で蒸発して、乾湿が繰り返される環境にあった。その乾湿により海塩成分や雨水中の不純物の濃縮と希釈の繰り返しにより減肉したものと推定される。



ダクト側面

ダクト側面

降雨時に補強材等に沿って流下する雨水にさらされる環境にある。流下雨水の勢いによっては、断続すみ肉溶接部に衝突、周辺の塗膜面の劣化を促した可能性がある。

補強材及び支持架構の取付部

補強材及び支持架構は断続すみ肉溶接で取り付けられており、雨天時には補強材等とダクトとのすき間に雨水が浸み込む可能性が高い。このため、晴天後も容易に乾き難い環境を形成するとともに、すき間部分の錆進行に伴い、内部の腐食部への酸素供給は制限される雰囲気により減肉したものと推定される。