

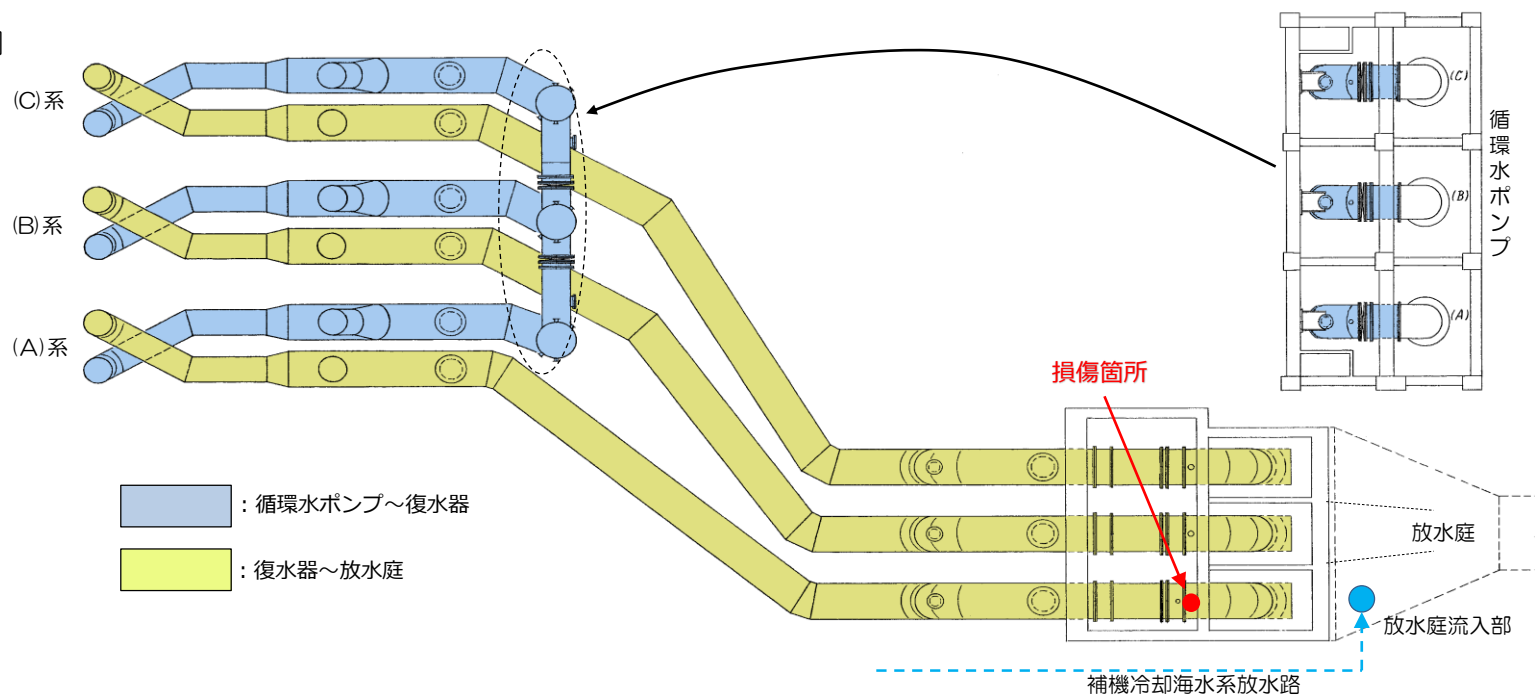
柏崎刈羽原子力発電所7号機 循環水系配管欠損部調査

東京電力ホールディングス株式会社
柏崎刈羽原子力発電所

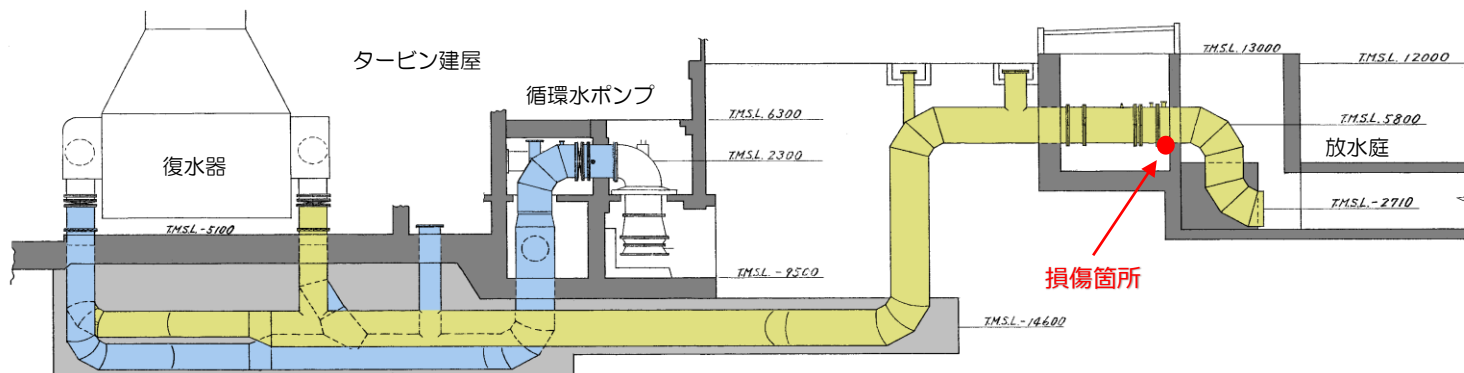


循環水系配管概要

平面図

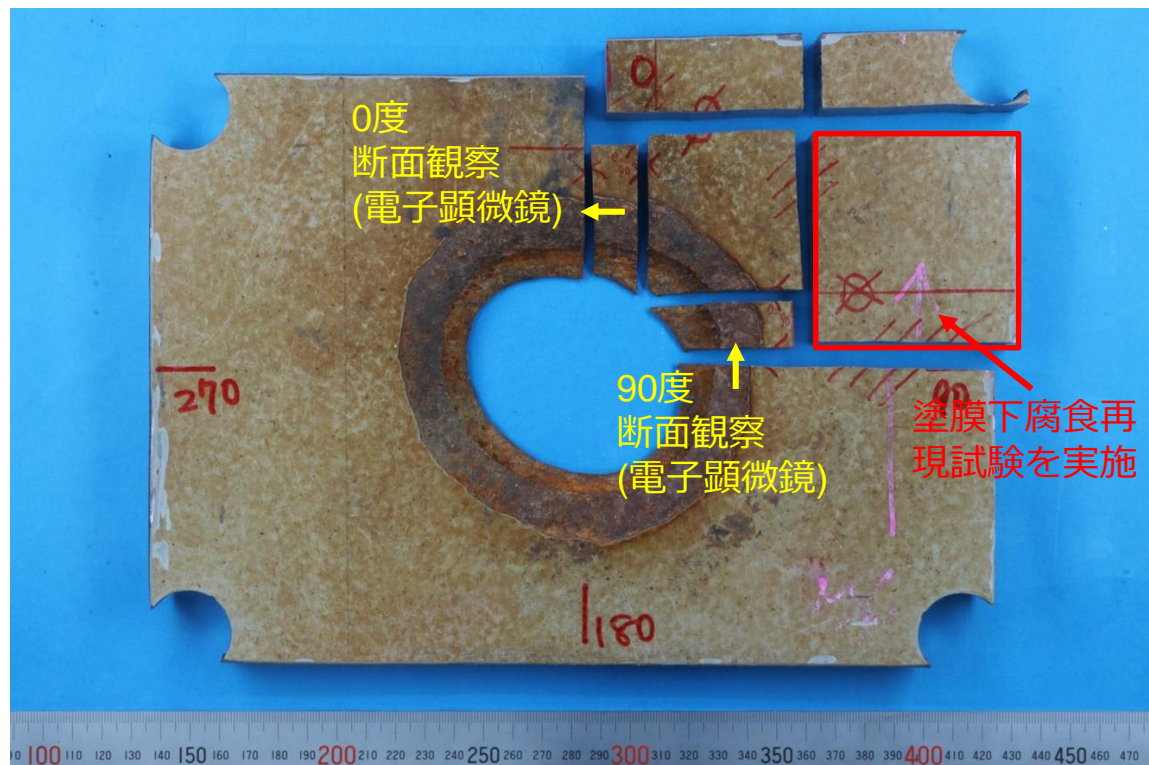


立面図



1. 欠損部切り出し調査

欠損部の切断及び調査項目



- 写真の通り欠損部を切断
- 0～90度側からの"破面"を電子顕微鏡で観察
- 塗膜下腐食再現試験に使用

1. 欠損部切り出し調査

外観観察結果 (“内面上部からの破面”)

TEPCO

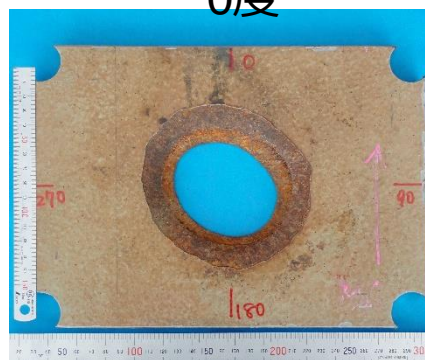
- 全域において、ランダムな凹凸と腐食生成物が認められる



270度



0度



90度

180度



1. 欠損部切り出し調査 外観観察結果 (“横からの破面”)

TEPCO

270度



180度



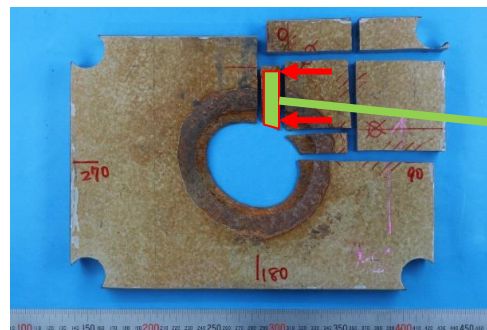
1. 欠損部切り出し調査

切断面の様相 (横から0度側を確認)

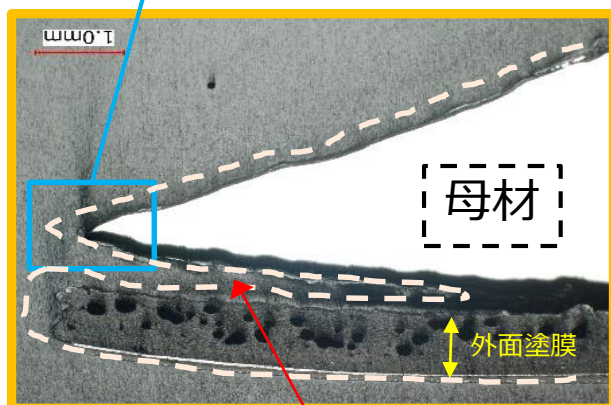
TEPCO



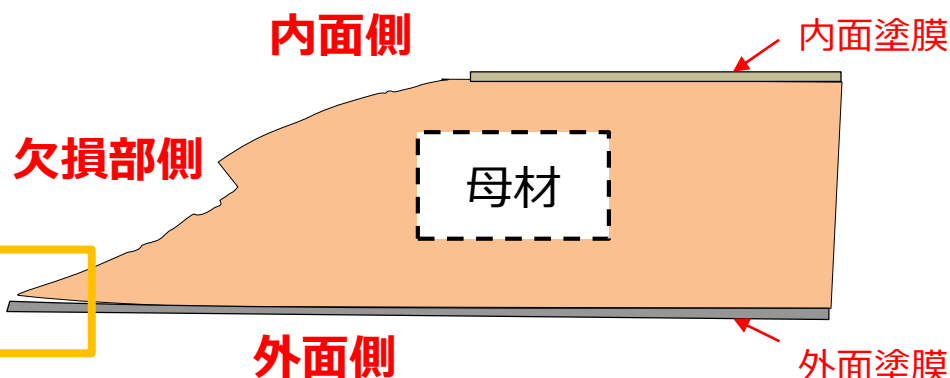
鋭角的な形状



※切断面を磨いているため、鏡のようにカメラが映っている状態



外面側の塗膜と母材の間には、腐食により隙間が出来ている



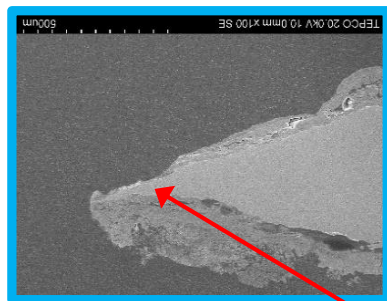
配管より切断した欠損部を0度（流れ方向に沿う形）で切断し、電子顕微鏡で観察を実施

- 欠損部端部が鋭角的に残存しており、典型的な腐食欠損の形状と評価（外力による強制破断の場合、欠損部端部が鋭角的に残存する可能性は低い）
- 欠損部端部の外面側には、塗膜と母材の間に腐食によりできた隙間が観察され、塗膜下腐食の様相と判断できることから、損傷確認時より前に金属部分は貫通していたことを示唆（外面塗膜だけで長期間塞がれていた状態）

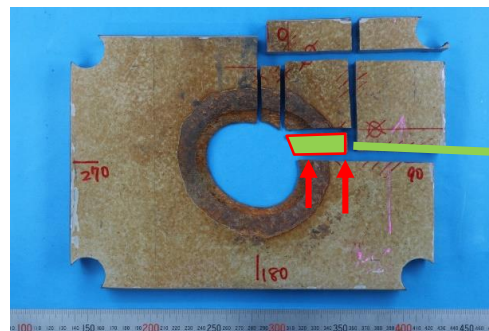
1. 欠損部切り出し調査

切断面の様相 (横から90度側を確認)

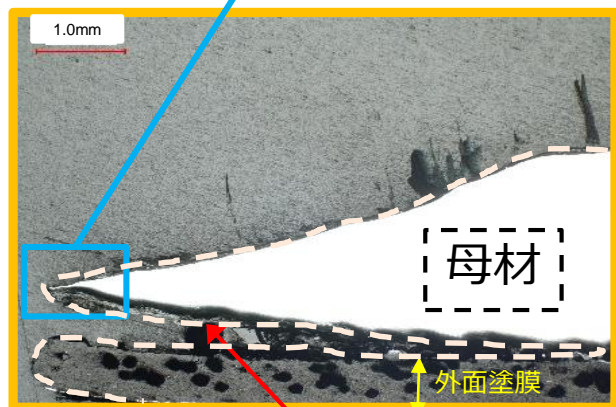
TEPCO



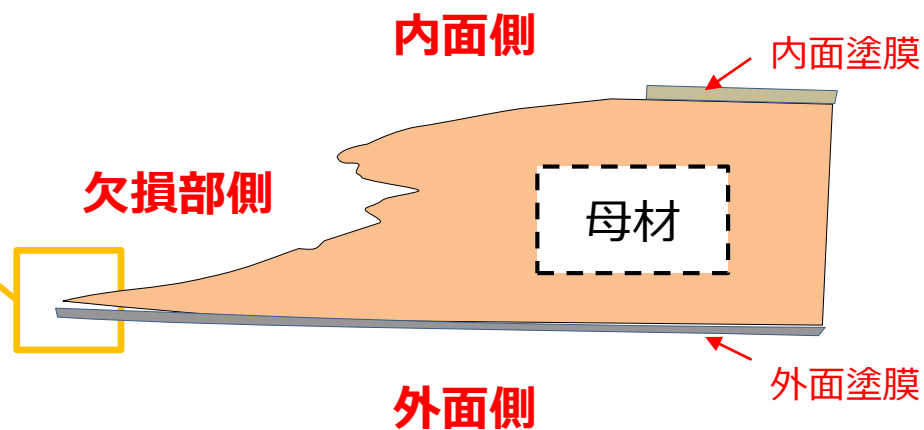
鋭角的な形状



※切断面を磨いているため、鏡のようにカメラが映っている状態



外面側の塗膜と母材の間には、腐食により隙間が出来ている

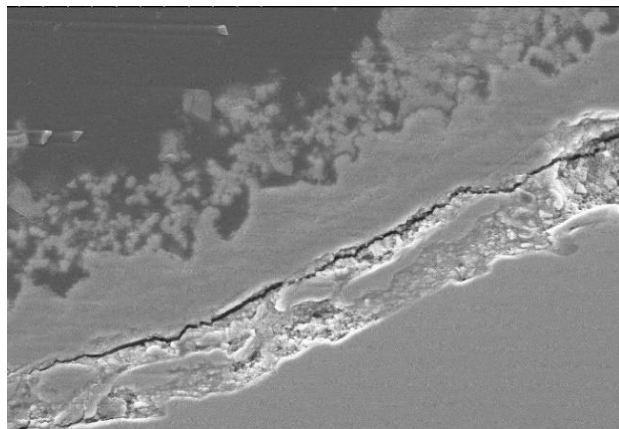


配管より切断した欠損部を90度（流れ方向に直角）で切断し、電子顕微鏡で観察を実施

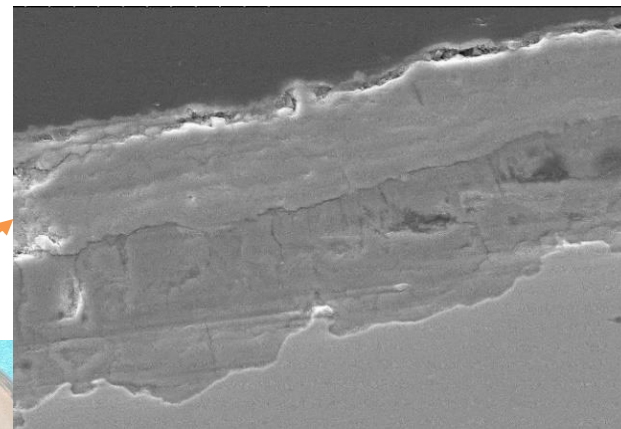
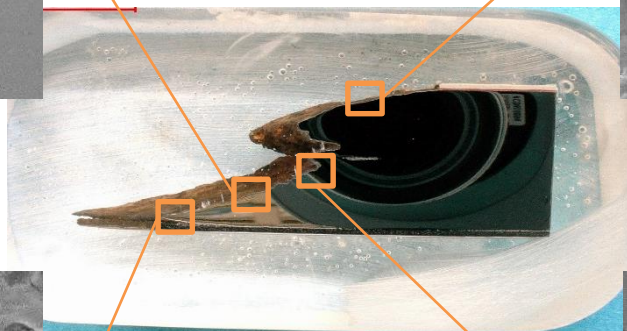
- 欠損部端部の様相は、0度と同様であることが確認された

1. 欠損部切り出し調査

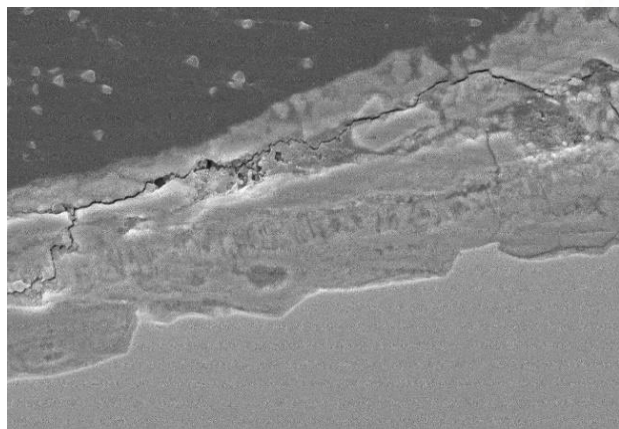
欠損部内面の錆び層の様相



- 錆び層厚さ：30～50 μm程度
- 組成：FeO(OH)・H₂O主体

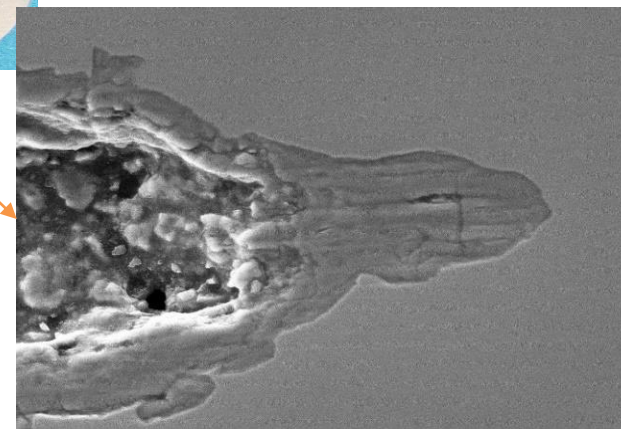


- 錆び層厚さ：40～60 μm程度
- 組成：FeO(OH)・H₂O主体



- 錆び層厚さ：40～50 μm程度
- 組成：FeO(OH)・H₂O主体

- 錆び層は概ね単相
- 一般的な錆び成分が検出



- 錆び層厚さ：－（定義困難）
- 組成：FeO(OH)・H₂O主体

2. 欠損要因の考察

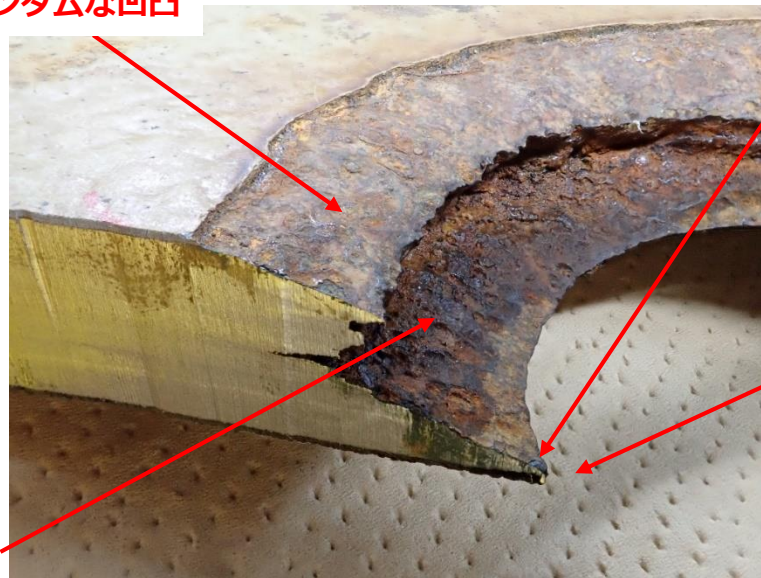
外観目視および顕微鏡での観察結果纏め

■ 以下の観点から『腐食による欠損』と推定

- ①欠損部内面にランダムな凹凸 ⇒典型的な金属溶解面の様相
- ②欠損部端部が鋭角的 ⇒典型的な腐食欠損の様相
- ③欠損部周囲の外膜塗膜付近で腐食が進行 ⇒相当前から腐食していたことを示唆
- ④欠損部内面の錆び層厚さが50 μm前後 ⇒欠損確認後の数日でこれほど厚くならない

【背景】 約10年間の長期停止中は湿潤環境になっていた

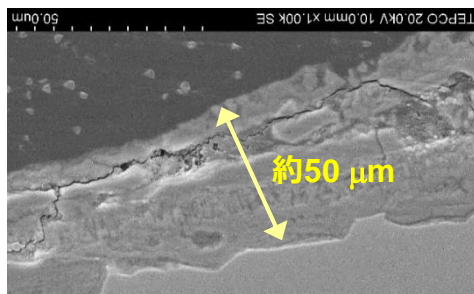
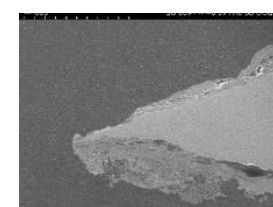
①ランダムな凹凸



②貫通孔端部が鋭角的



③外面塗膜付近で腐食



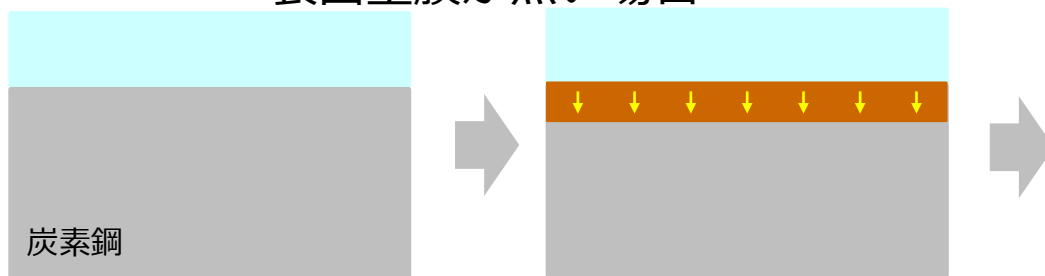
④欠損部周辺の
錆び層厚さが50 μm前後

2. 欠損要因の考察

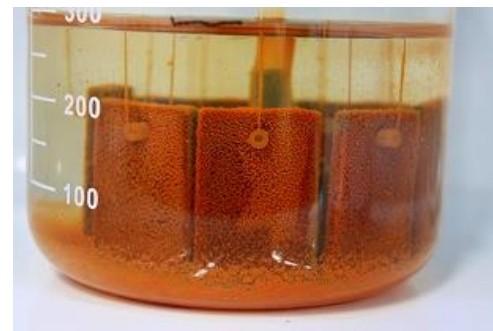
腐食が円形となった推定要因

- **平板表面**：炭素鋼は全面で平面的にほぼ均一に腐食が進行する
- **塗膜欠陥部**：塗膜の初期欠損が細孔状（円形）であった可能性があり、当該配管のガラス樹脂塗膜は固着力が強いため、腐食が水平方向にランダムに拡がりにくい。また腐食拡大が局所に限定されるため、同心円状に拡がりやすい。

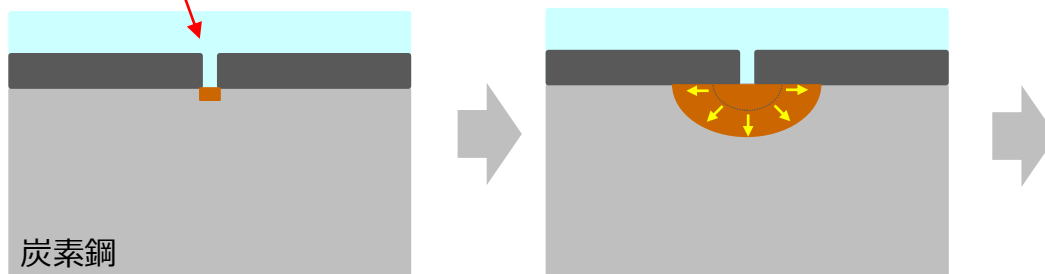
表面塗膜が無い場合



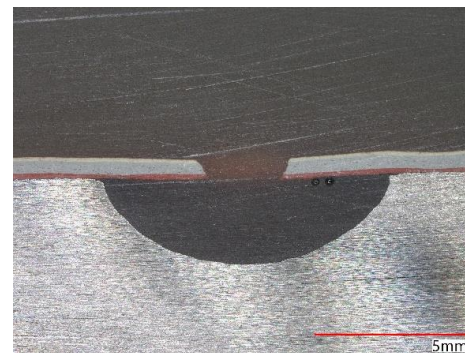
平板表面が全面的にほぼ均一に腐食する様相



塗膜が局所欠陥 硬い表面塗膜がある場合



塗膜欠陥部より同心円状に腐食する様相

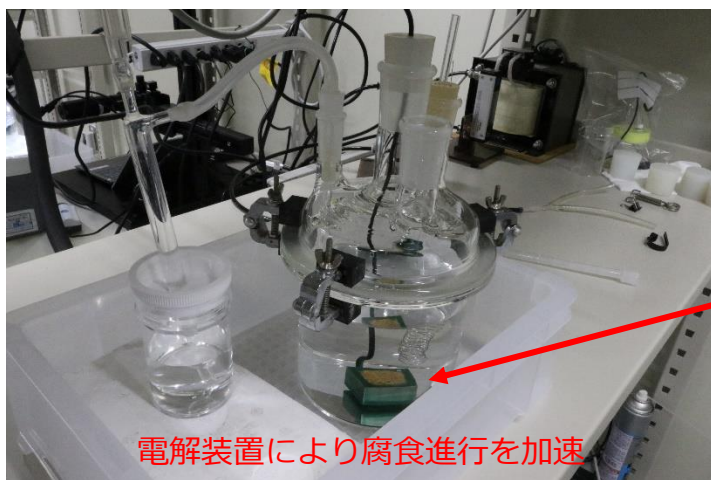
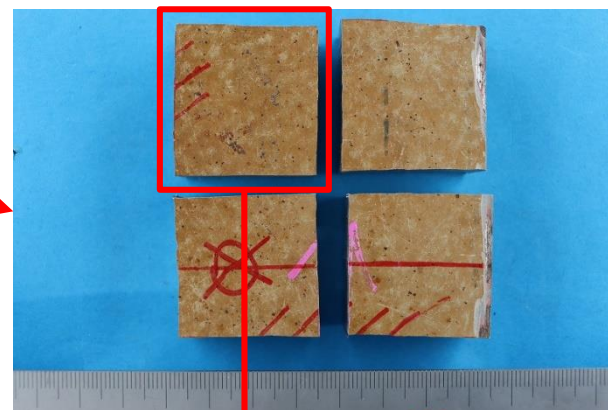
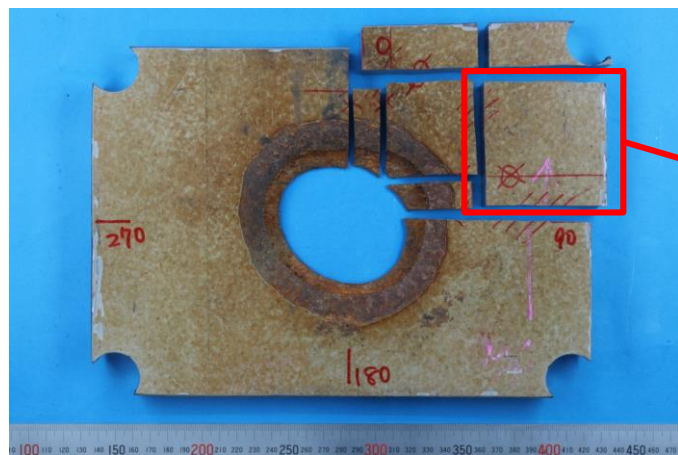


<参考資料>

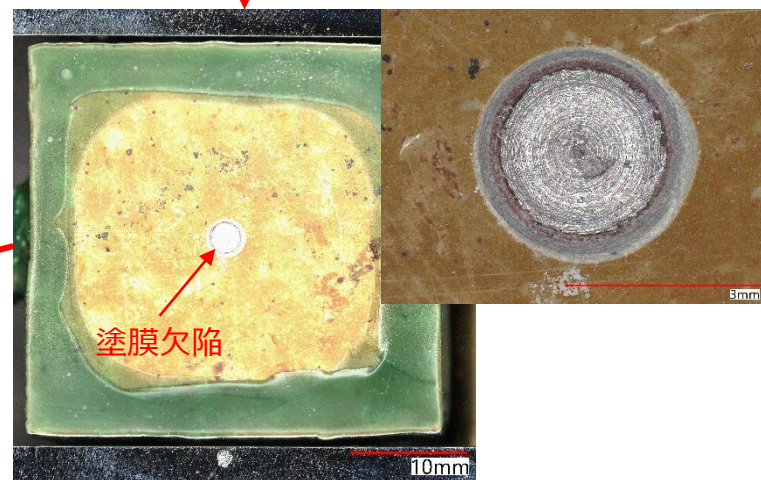
塗膜下腐食の再現試験

TEPCO

- 損傷した配管サンプルから試験片を採取し，塗膜に $\Phi 3$ mmの欠陥を付与
- 人工海水中の電解により腐食を短期間で進行させ，塗膜下腐食の挙動を調査



電解装置により腐食進行を加速



<参考資料>

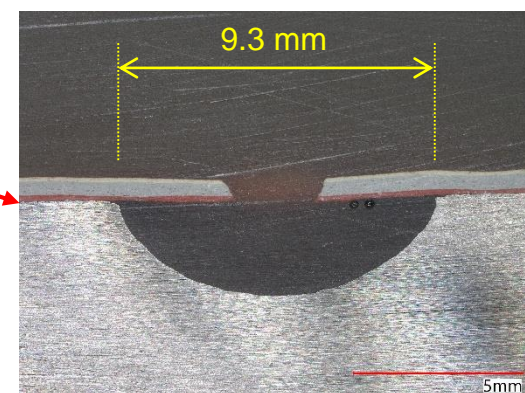
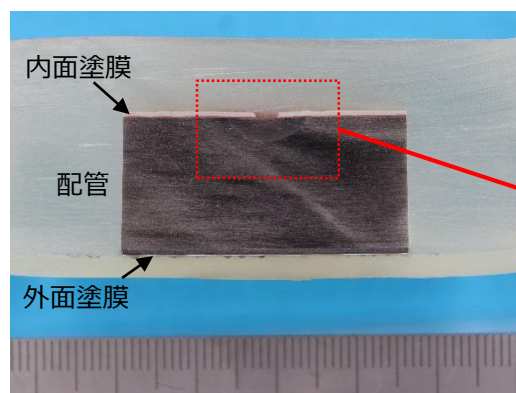
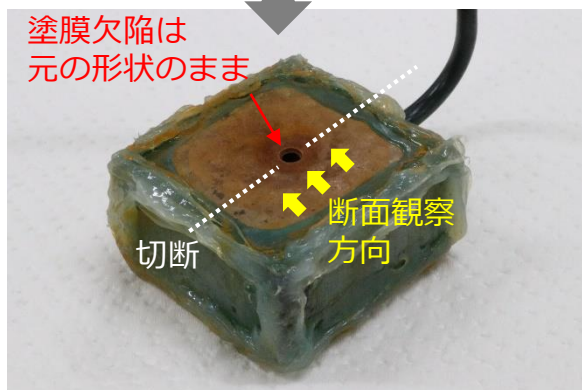
塗膜下腐食の再現試験【結果】

TEPCO

- 塗膜欠陥の下部のみで腐食が進行
- 損傷配管の塗膜下腐食が、ほぼ半球状（同心円状）に拡大することを確認

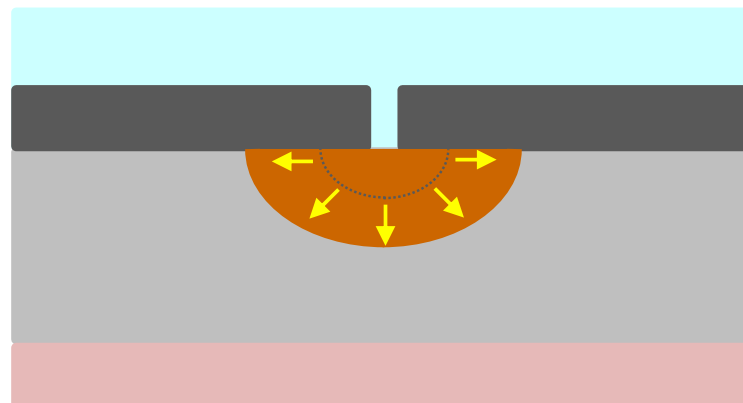


洗浄



断面観察

通電後の試験片断面観察結果

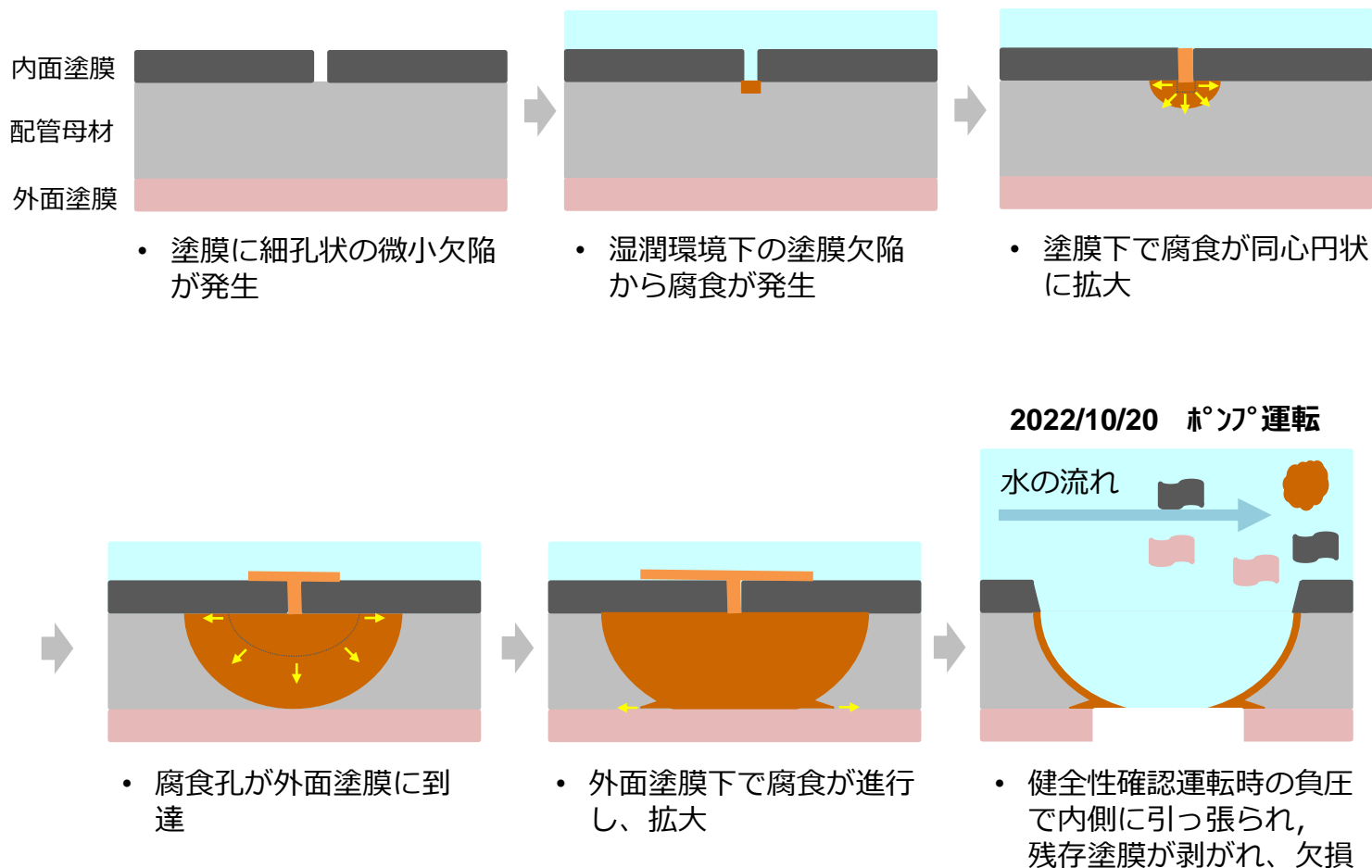


総電気量3,550クーロン通電後の試験片外観
(腐食量1.02 g⇒直径8 mmの半球に相当)

2. 欠損要因の考察

円形の欠損発生に至った推定要因

- プラント停止後，長期間湿潤環境下となり，配管内表面に細孔状の局所的な塗膜欠陥部から塗膜下腐食が進行し，欠損に至ったものと推定



3. 循環水系配管における今後の対応方針について

循環水配管内部の点検を行う場合は配管内部に作業員が入って作業を行うため、ボール捕集器周辺における流体が水抜き状態であっても系統構成上、湿潤環境となる場合があり、作業内容や環境状況に応じた点検を実施する必要があった。

■ 今後のメンテナンス方法及び点検計画について

- 配管内で作業する場合、
 - ①道工具類の落下防止措置や足場材への先端保護など、内面に傷を付けないよう細心の注意を払う。
 - ②作業終了後は圧痕傷や打痕傷のないことを確認し、塗膜剥離や腐食が確認された場合は速やかに補修する。これらのルールをあらためて策定し、作業手順に反映する。
- 内面コーティングが施された配管内面点検については、ボール捕集器出口側を含めた範囲を点検対象とし、計画的に内面点検を実施する。
- 7号機循環水系配管全範囲および6号機ボール捕集器出口配管について今年度内を目標に点検を計画する。
- 系統構成により配管内が湿潤環境となる可能性がある1・5号機ボール捕集器出口配管（各号機2箇所 合計4箇所）について、計画的に調査を行う。

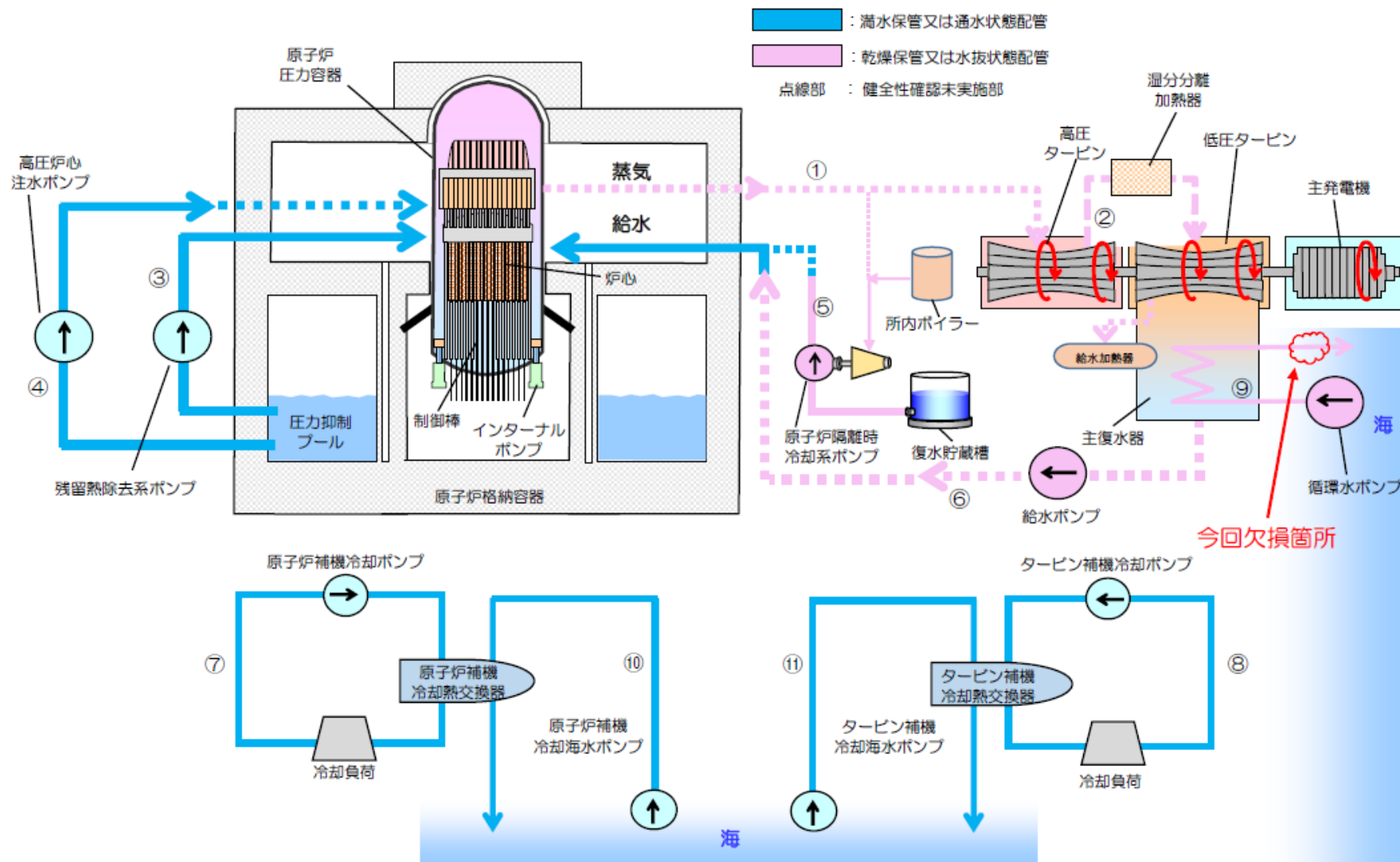
柏崎刈羽原子力発電所7号機 主要系統における配管概要

東京電力ホールディングス株式会社
柏崎刈羽原子力発電所



柏崎刈羽原子力発電所 7号機 設備概略図

柏崎刈羽原子力発電所 7号機 設備概略図



7号機配管概要

	系統	流体	全長	主な点検方法	特記事項
①	主蒸気系	蒸気	471m	浸透探傷検査 超音波探傷検査 配管肉厚測定 漏えい検査	<ul style="list-style-type: none"> ・制御棒引抜後、<u>主蒸気による漏えい検査時に健全性確認を実施</u> ・乾燥保管が出来ている場合、著しい腐食の進行は無いと判断
②	抽気系（主蒸気系から抽出した蒸気）		621m	浸透探傷検査 漏えい検査	
③	残留熱除去系	淡水	502m	浸透探傷検査 超音波探傷検査 漏えい検査	<ul style="list-style-type: none"> ・定例試験にて健全性確認実施済み ・水質管理を実施しており、著しい腐食の可能性は低い
④	高圧炉心注水系		420m		
⑤	原子炉隔離時冷却系	淡水	132m	浸透探傷検査 超音波探傷検査 配管肉厚測定 漏えい検査	<ul style="list-style-type: none"> ・2011.11 運転圧による健全性確認実施済み（淡水ライン38m、蒸気ライン50mを除く） ・健全性確認未実施箇所は制御棒引抜後、主蒸気による試運転時に漏えい検査を行い健全性確認を実施する
		蒸気	53m		
⑥	給・復水系	淡水	1439m	超音波探傷検査 配管肉厚測定 漏えい検査	<ul style="list-style-type: none"> ・2022.12 運転圧による健全性確認実施済 ・乾燥保管が出来ている場合、著しい腐食の進行は無いと判断
⑦	原子炉補機冷却系		2859m	漏えい検査	
⑧	タービン補機冷却系		718m		
⑨	循環水系	海水	860m	内面検査 ピンホール検査 漏えい検査	<ul style="list-style-type: none"> ・2022.11～12 運転圧にて健全性確認実施済、<u>今年度内を目標に全数再点検を計画</u> ・乾燥保管が出来ている場合、又は塗膜が健全である場合、著しい腐食の進行は無いと判断
⑩	原子炉補機冷却海水系		409m		
⑪	タービン補機冷却海水系		108m		

点検方法補足

点検方法	概要
内面検査	配管内面において、有意な傷等が無い目視にて確認を行う検査
ピンホール検査	配管に塗布されている塗膜・ライニング表面に電圧を掛け、絶縁状態を確認する検査
漏えい検査	運転圧等にて漏えいが無い確認を行う検査
浸透探傷検査	試験体表面に着色液を塗布し傷の中に浸透させ、表面の余分な液を除去後に微粉末で吸い出すことで、表面に開口する微小傷を検出する検査
超音波探傷検査	超音波探傷器を材料表面に当て、超音波の反射信号や反射強度、伝搬時間により金属材料内部の傷や長さ、形状を評価する検査
配管肉厚測定	超音波探触子を配管表面に当て、超音波が反射し戻ってくるまでの伝搬時間により金属材料の厚さの確認を行うこと

欠損箇所の補修状況（参考資料）



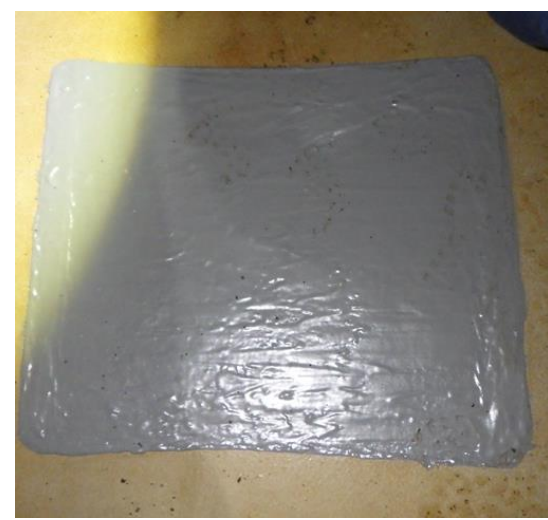
配管外側（欠損有）



配管外側（補修後）



配管内側（欠損有）



配管内側（補修後）