

原子力発第09258号
平成22年 3月 9日

愛媛県知事
加戸守行 殿

四国電力株式会社
取締役社長 千葉 昭

伊方発電所第3号機 第2 低圧給水加熱器 3 B 入口抽気温度計の指示不良
他5件に係る報告書の提出について

平成20年12月24日に発生しました伊方発電所第3号機 第2 低圧給水加熱器
3 B 入口抽気温度計の指示不良他5件につきまして、その後の調査結果がまと
まりましたので、安全協定第11条第2項に基づき、別添のとおり報告いたします。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜
りますようお願い申し上げます。

以 上

伊方発電所第3号機
復水器内の復水導電率上昇について

平成22年3月
四国電力株式会社

1. 件 名
伊方発電所第3号機
復水器内の復水導電率上昇について
2. 事象発生の日時
平成21年 9月25日 10時30分
3. 事象発生の設備
伊方3号機復水器ホットウェル3B
4. 事象発生時の運転状況
通常運転中（発電機出力913MW）

5. 事象発生の状況

伊方発電所第3号機（定格電気出力890MW）は通常運転中のところ、平成21年9月25日10時30分、2次系の水質異常を示す信号が発信したため、現地を確認した結果、復水器ホットウェル*3Bの導電率が高いこと、また、その後の復水器ホットウェル3Bの水質分析によりナトリウムおよび塩素の有意な検出が認められたことから、細管からの微量な海水漏えいと推定された。

その後、復水器ホットウェル3Bの導電率は約 $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ で安定し、プラントの運転に問題はなかったものの、予防保全の観点から、10月13日より発電機出力を約95%に下げ、復水器3B水室を隔離して、漏えい細管の調査を行った。調査の結果、細管の1本が漏えいしていることを確認したため、当該細管に施栓を実施した。また、渦流探傷検査（以下「ECT」という。）の結果、施栓の判定基準に達していないものの、微小な指示が認められた細管および漏えい細管の周囲の細管など計20本について、念のため施栓を実施した。

その後、10月16日、定格熱出力に復帰し、海水の漏えいがないことを確認し、運転を継続した。

なお、本事象により混入した海水は、復水脱塩装置にて除去されるため、運転および停止操作上問題はなく、また、周辺環境への放射能の影響はなかった。

平成22年1月7日開始の3号機第12回定期検査において、漏えいの原因を特定するため、抜管調査等を実施した結果、漏えい細管に微小な貫通穴が1箇所認められた。また、念のため、復水器水室3A、3C、3Dの細管について計17本の施栓を実施した。

（添付資料－1、2）

*復水器ホットウェル

タービンで使用した蒸気を復水器内で冷却凝縮した水（復水）の水溜め

6. 事象の時系列

平成21年9月25日

3時48分 2次系の水質異常を示す信号が発信

10時30分 復水器ホットウェル3Bの水質分析によりナトリウム及び塩素の有意な検出が認められた

10月13日

9時00分 発電機出力を約95%に下げ、漏えい細管の調査開始

10月14日

15時00分 リークテストにより、細管の1本が漏えいしていることが判明

10月15日

17時00分 ECTの結果、施栓の判定基準に達していないものの、微小な指示が認められた細管および漏えい細管の周囲の細管など計20本について施栓を実施

10月16日

13時30分 定格熱出力運転に復帰し、海水の混入がないことを確認

平成22年1月7日

0時20分 送電を停止し、3号機第12回定期検査開始

1月12日

復水器水室3B漏えい細管の抜管調査開始

2月 3日

復水器水室3A、3C、3Dの細管計17本について施栓を実施

7. 現地調査結果

プラント運転中に施栓を実施した漏えい細管（B-D-68-1）の損傷原因について、3号機第12回定期検査において、以下の調査を行った。

(1) 運転状況の調査

復水器の運転パラメータ（圧力、温度、流量等）を調査した結果、水質以外には問題のないことを確認した。

(2) 材料調査

細管の材料（チタン）について、材料証明書を確認した結果、所定の材料が使用されていること、および規格値を満足しており問題のないことを確認した。

(3) 外観目視点検

漏えい細管について外観目視点検を実施した結果、第3管支持板と第4管支持板の間の細管上部に、無数の小さな点状の孔が約130mmの範囲で認められた。その他は、特に異常は認められなかった。(添付資料-3)

(4) 加圧テスト

漏えい管について、細管内を空気にて加圧し、無数の小さな点状の孔に発泡試験材を吹きかけた結果、1箇所空気の漏れが確認された。その他の箇所(全長)にも発泡試験材を吹きかけたが、特に空気の漏れは確認されなかった。

(5) 金属調査

漏えい細管を抜管して、漏えい部について以下の調査を実施した。

a. 外観観察

細管外面の外観観察を実施したところ、細管上部に無数の小さな点状の孔が、第3管支持板の下流側約10mmの位置から、長さ約130mm、最大幅約20mmの範囲に認められた。(添付資料-4)

細管内面の外観観察を実施したところ、1箇所の漏えい部が認められ、その位置は、加圧テストで空気の漏れが確認された箇所と同じであった。また、漏えい部には、錆の付着が認められた。なお、その他には、腐食、傷等の異常は認められなかった。

b. 断面ミクロ観察

漏えい部の断面ミクロ観察を実施したところ、貫通孔は外面側が大きく、内面側が小さいU字型を呈していた。また、漏えい部周辺は、減肉部位がノコギリ状となるドロップレットエロージョン*の特徴を有していた。(添付資料-5)

*ドロップレットエロージョン

タービン排気蒸気等の水滴や凝縮水が、高速な気体とともに細管等に衝突することにより、細管表面を浸食する現象をいう。

(6) 点検履歴調査 (ECT)

復水器細管のECTの頻度は、通常ECTは1回/8定検、外周細管の高感度ECT(多重周波数ECT)は1回/2定検であり、復水器水室3Bの至近のECTは、通常ECTは第5回定検(平成13年4月~平成13年5月)、外周細管の高感度ECTは前回定検である第11回定検(平成20年9月~平成20年11月)に実施していた。これまでのECTの結果、施栓基準を超える信号は検出されていなかった。

前回定検にて実施した漏えい細管の高感度ECTの測定結果を確認したところ、漏えい箇所に3波形(内面振幅、内外面MIX振幅、外面振幅)とも連続した微小な信号指示が認められるが、振幅の大きさおよび位相解析結果より、ノイズによる指示と評価していた。(添付資料-6)

なお、第11回定検において出力降下中に発生した漏えい細管（1本）については、高感度ECTにて貫通を示す信号が認められたことから、復水器3A～3Dの外周細管全数の高感度ECTを実施し、漏えい細管以外の細管に問題ないことを確認した。その対策としては、漏えい細管（1本）について施栓を実施するとともに、復水器外周細管の高感度ECTについては、1回/2定検の頻度にて実施することとした。

8. 流動解析

復水器内のタービン排気蒸気流の影響を調査するため、流動解析を実施した結果、復水器胴壁側は中央部に比べて流速が早く、また、漏えい箇所近傍は、その中でも比較的流速が早いエリアであった。（添付資料－7）

9. 復水器内の管台及び内部構造物調査

復水器内の管台及び内部構造物の目視点検を実施した結果、復水器3B水室にはドレン等の管台はないが、漏えい細管の上部にダンプスプレイ*のノズルがあり、そのノズルからの吹き出し付近および漏えい箇所上部に第2低圧給水加熱器のドレン配管のサポート板（板状のサポート）があり、ドレン配管及びサポートは上面に光沢が認められ、サポートには水の路と思われる流れ跡が認められたことから、ダンプスプレイ水がサポート板に当たり、その水がサポート板をつたわって、漏えい箇所に衝突した可能性がある。なお、その他の内部構造物には、漏えい管上部とその他の箇所では特に有意な違いはなかった。

（添付資料－8）

*ダンプスプレイ

タービンの起動、停止および負荷急減等の際に、主蒸気がタービンをバイパスして復水器にダンプする（熱を捨てる）時に、ダンプされる蒸気の温度を下げるためのスプレイ。通常運転中も、スプレイ作動時のハンマー防止のため、常時少量流している。

10. 推定原因

当該管の金属調査等の結果、細管損傷の原因は、細管外面からのドロップレットエロージョンであり、細管外面からの小さな点状の減肉が徐々に進行し、貫通に至ったものと推定される。

ドロップレットエロージョンは、当該箇所近傍は蒸気流速の速いエリアであること、また、当該部はダンプスプレイ水が第2低圧給水加熱器ドレン配管のサポート板をつたわって衝突する可能性があることから、当該部に高速の蒸気とともに水滴が衝突して発生したと推定される。（添付資料－9）

1 1. その他の細管の健全性確認

復水器水室3A～3Dの外周細管全数について、外観目視点検を実施した結果、漏えい細管以外は小さな点状の孔等ドロップレットエロージョンの兆候は認められなかった。

また、復水器水室3A～3Dの外周細管全数について高感度ECTを実施し、有意な信号指示がないことを確認した。さらに、漏えい箇所と同様な波形（3波形とも連続した微小な信号指示）がないことも確認した。

1 2. 1、2号機の状況

1、2号機の細管は主に黄銅管（一部チタン管あり）で構成されており、毎定検細管全数の通常ECTを実施し、施栓基準を超えた細管については施栓を実施している。また、30年以上の運転においてドロップレットエロージョンによる漏えいは発生していない。

1 3. 対 策

- (1) 復水器3B水室の漏えい細管特定時（平成21年10月）に、漏えい管1本およびECTの結果から微小な指示（凹み、キズを示す指示）が認められた細管とその周囲の細管など20本の合計21本について、施栓を実施した。

漏えい管以外で施栓をした20本のうち、ECTの微小な指示（凹みを示す指示）が出ていた細管2本については、第12回定期検査時に外観目視点検および類似細管の抜管調査を行った結果、凹み等の異常は認められなかったため、施栓を取り外し、漏えい管以外の施栓細管は合計18本となった。

（添付資料-10）

- (2) 復水器水室3A、3C、3Dの細管のうち、漏えい管と同じ位置（番地）でかつ流速の早い復水器壁側の細管およびその周辺の細管合計17本（復水器水室3Aについては既に1本施栓実施済みであるため5本、復水器水室3Cは6本、復水器水室3Dは6本）について、施栓を実施した。なお、今回の施栓による運転への影響はない。
（添付資料-10）

- (3) 流速の早い復水器壁側で施栓を実施した細管廻りの細管については、当面は毎定検、外観目視点検を実施する。また、外周細管の高感度ECTについては、今回の漏えい箇所と同様な波形の有無を確認することとし、その結果、同様な波形が認められた箇所については、目視点検を実施する旨を作業要領書に記載した。

以 上

添 付 資 料

添付資料－1 伊方3号機 復水器まわり概略系統図

添付資料－2 復水器水室3B漏えい箇所位置図

添付資料－3 外観目視点検結果

添付資料－4 外観観察結果（外面）

添付資料－5 断面マイクロ観察結果（1／2）（2／2）

添付資料－6 漏えい細管の高感度ECT結果

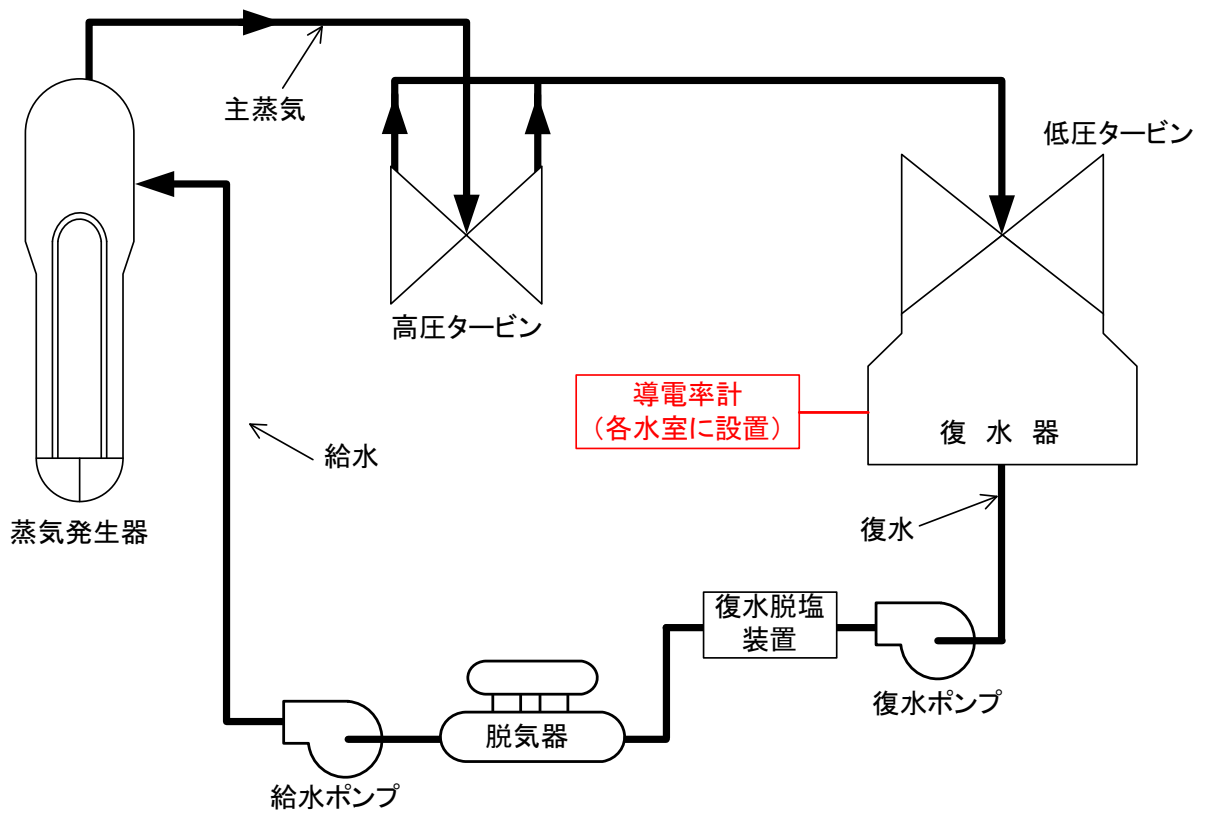
添付資料－7 復水器内の流動解析結果

添付資料－8 復水器内の管台および内部構造物の調査結果

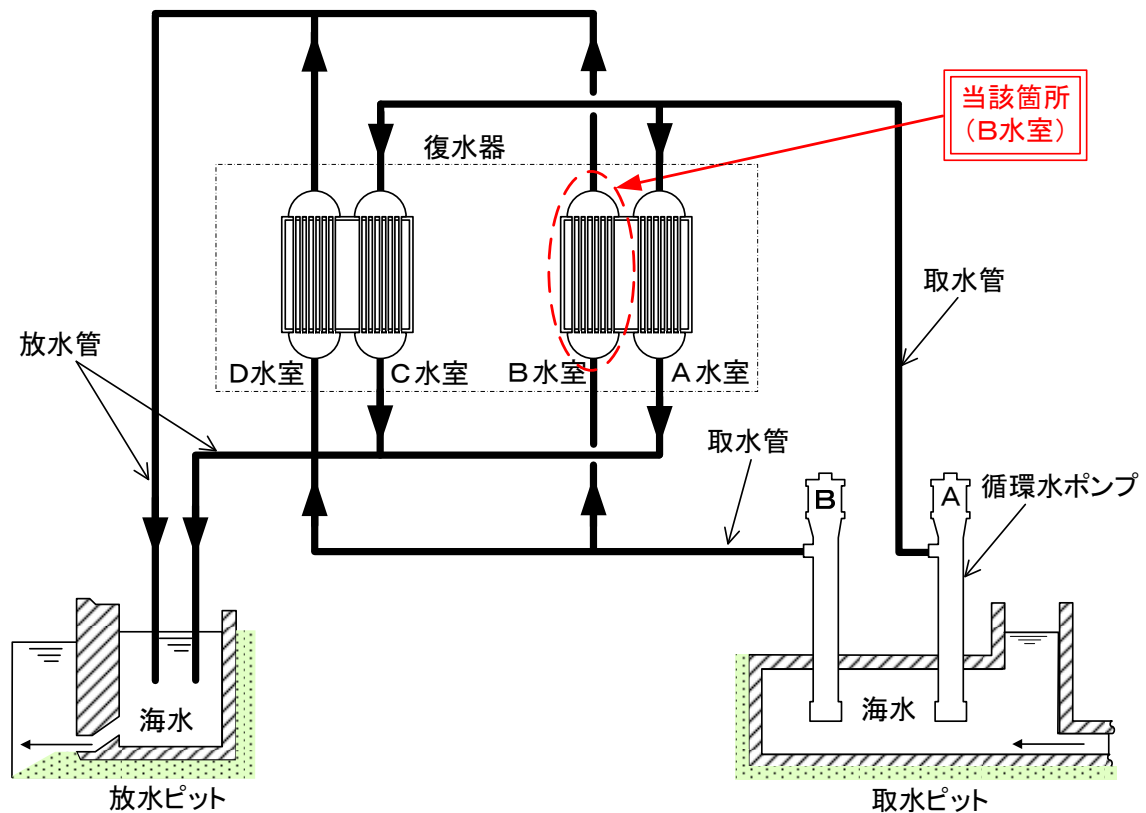
添付資料－9 チタン管ドロップレットエロージョンの推定メカニズム

添付資料－10 復水器施栓箇所（1／2）（2／2）

伊方発電所3号機 復水器まわり系統概略図

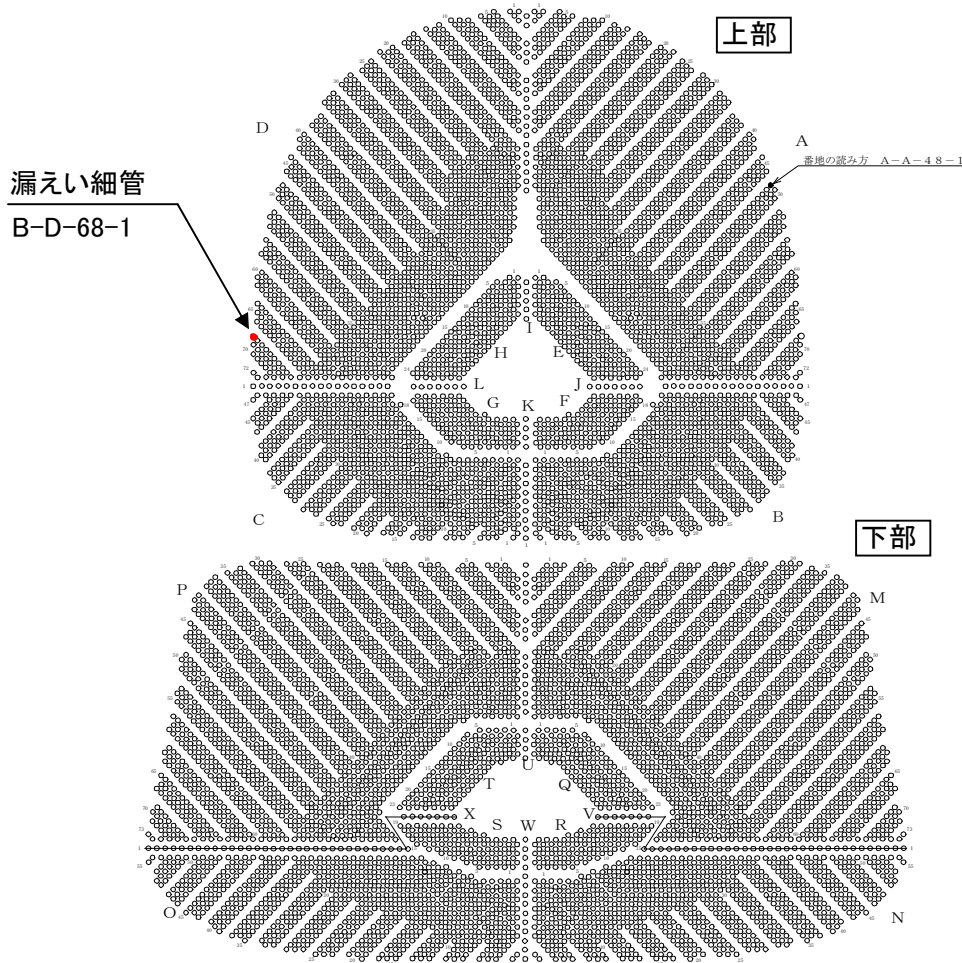


2次系系統概略図(純水)

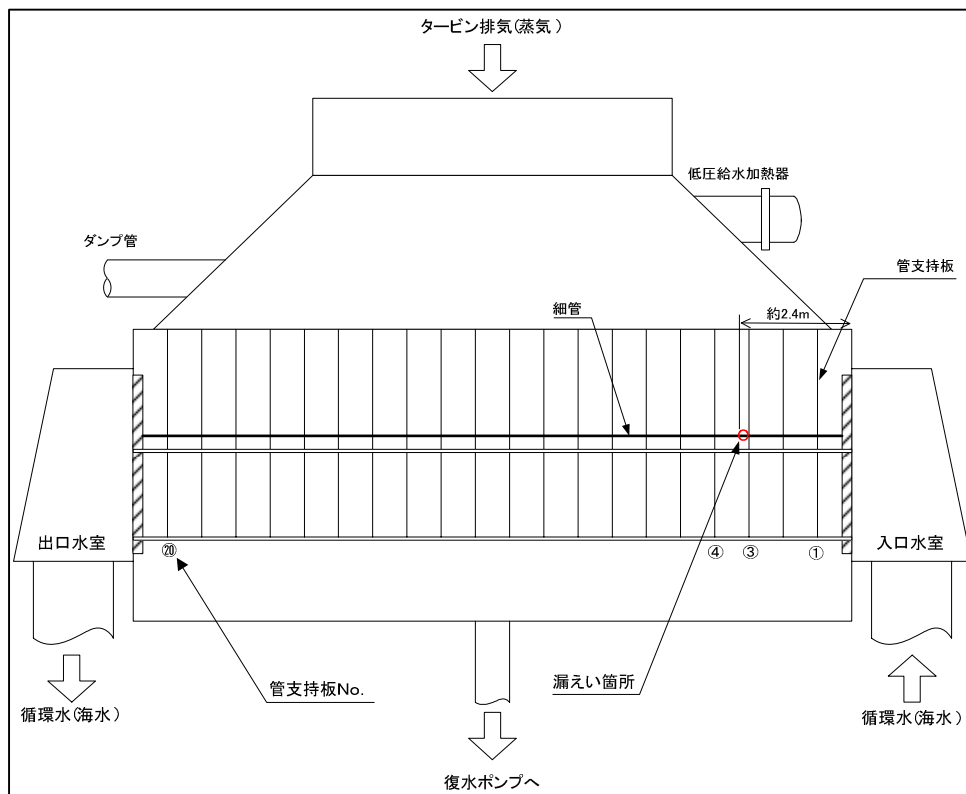


復水器まわり系統概略図(海水)

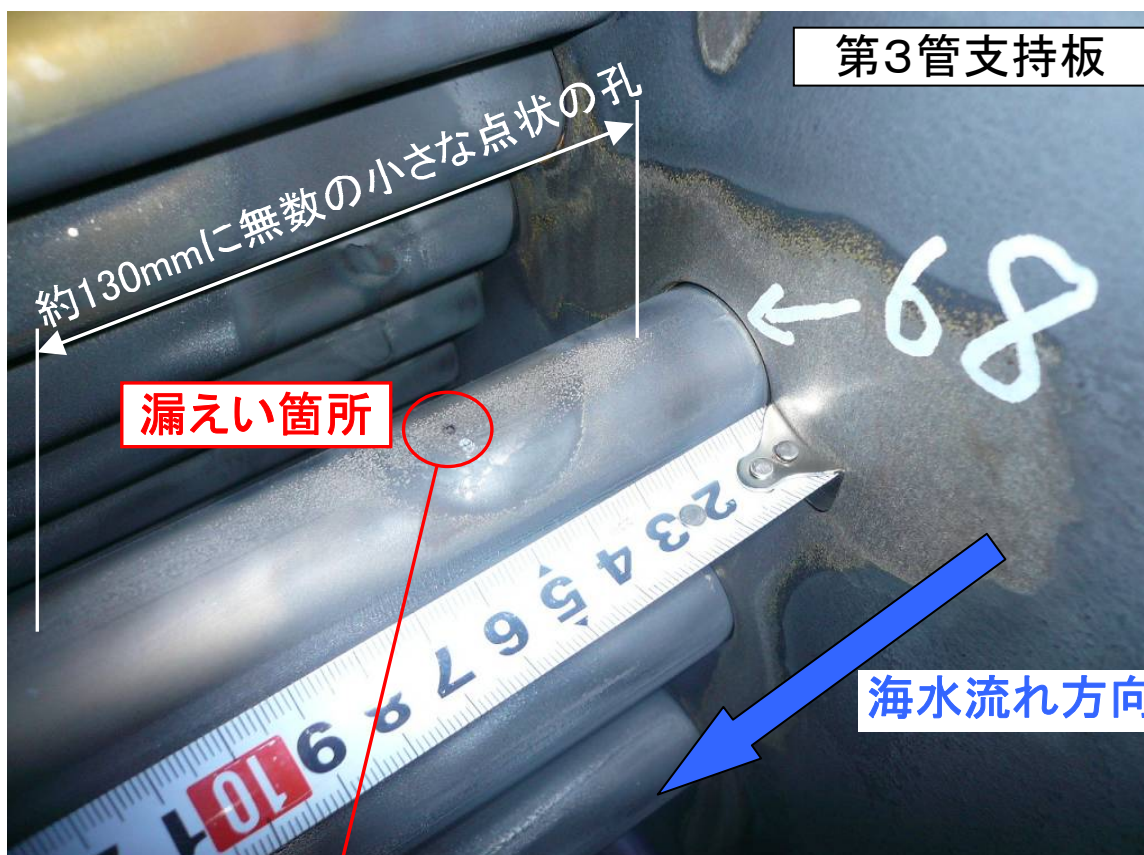
復水器水室3B漏えい箇所位置図



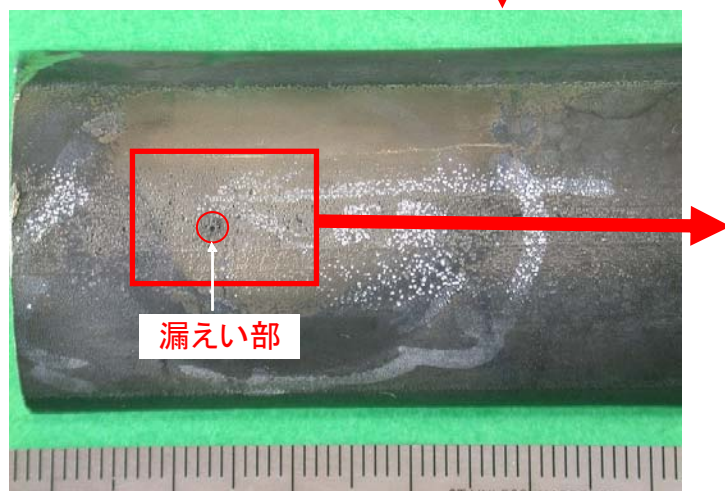
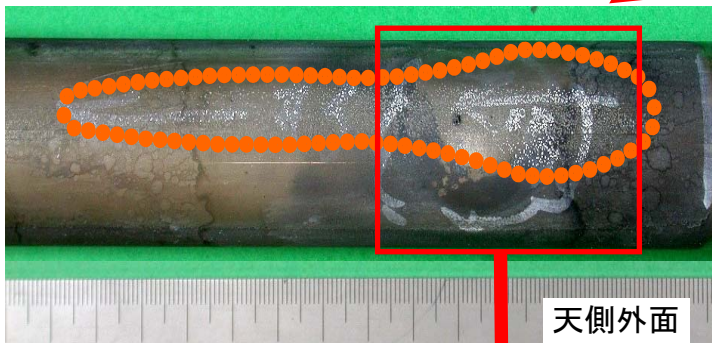
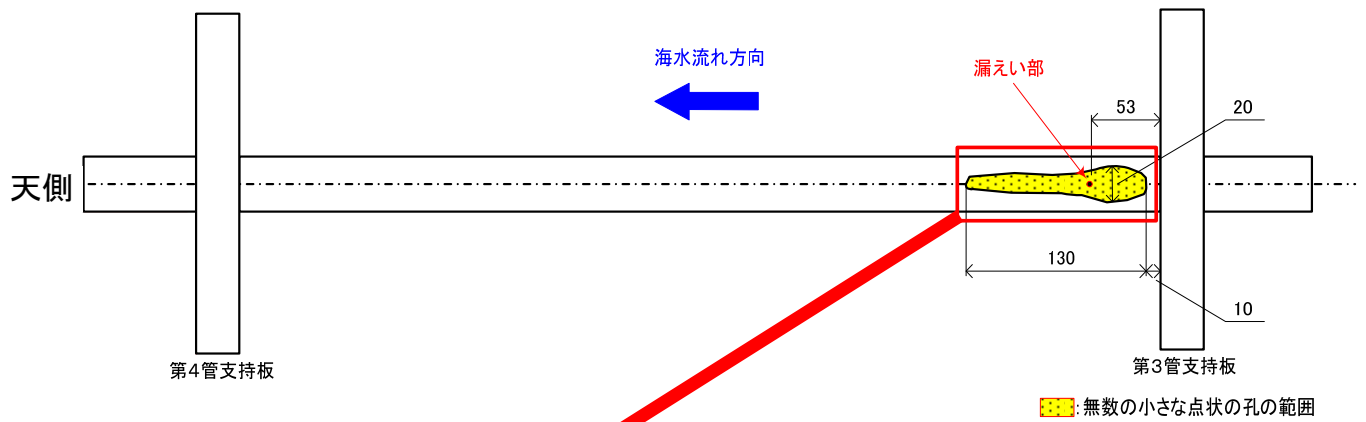
細管仕様	
外径	約32 mm
厚さ	0.5 mm
	0.7 mm(外周部)
長さ	16,540 mm
本数	上部 4,938 本
	下部 5,414 本
材質	チタン



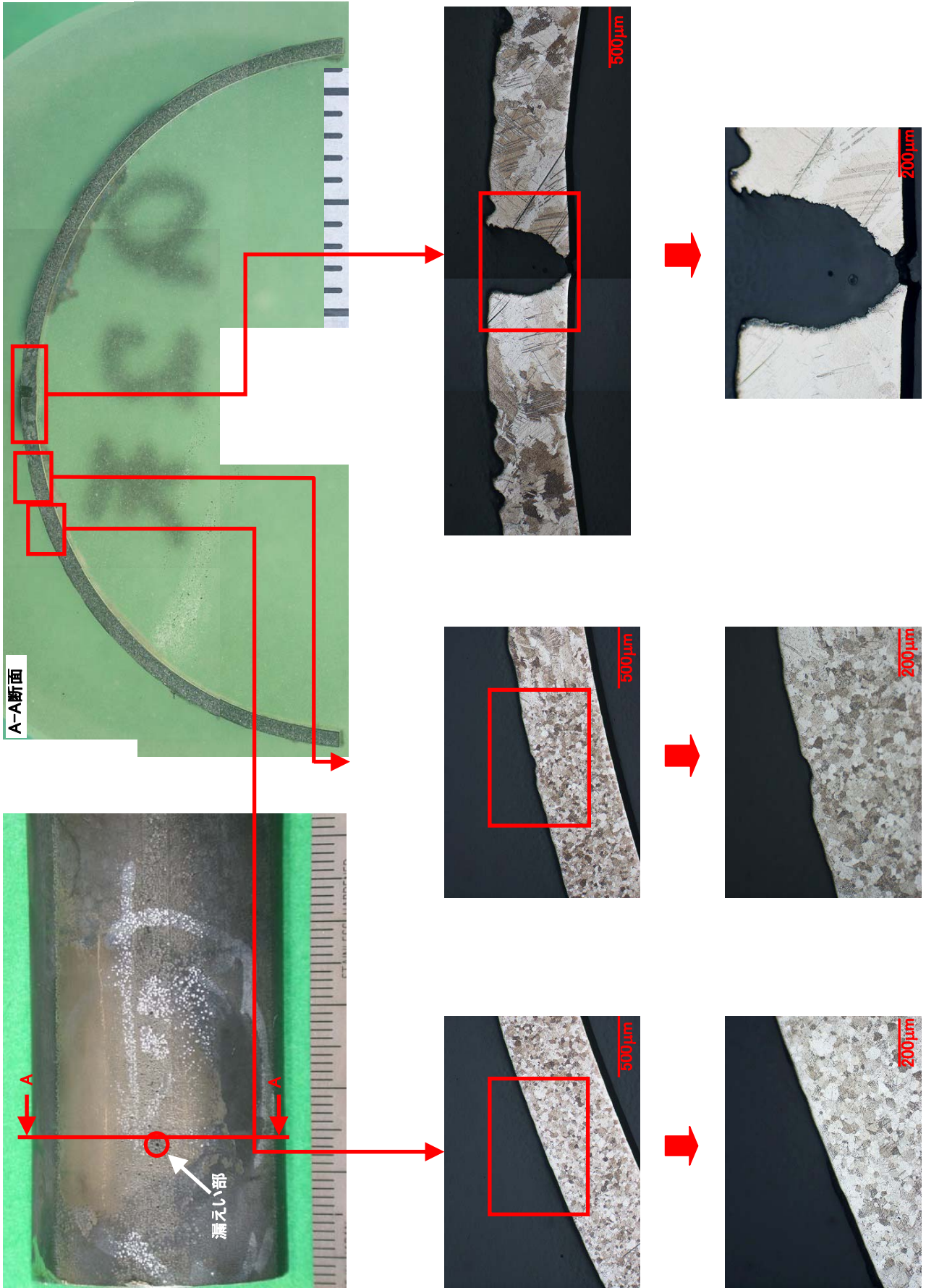
外観目視点検結果



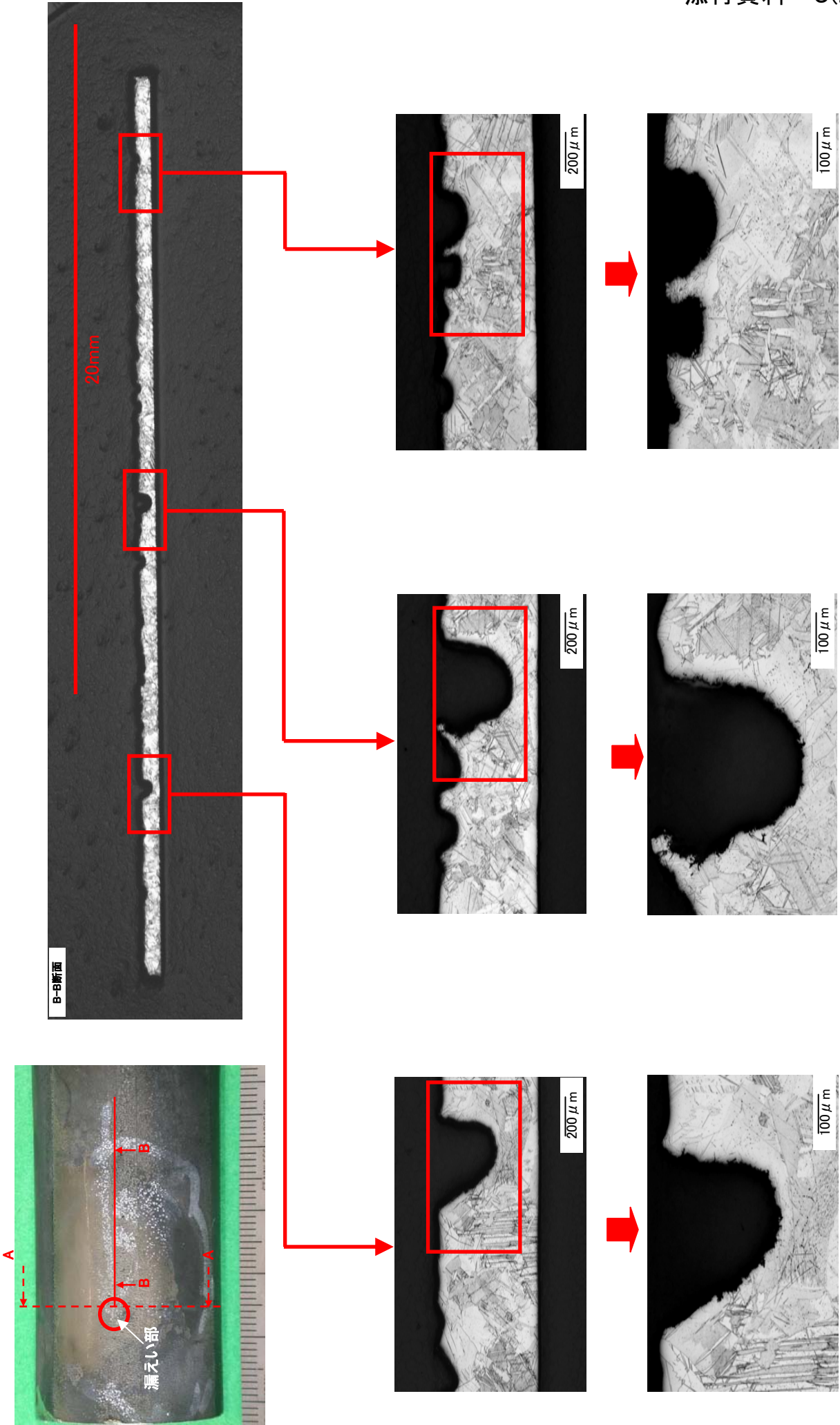
外観観察結果(外面)



断面ミクロ観察結果[漏えい部]



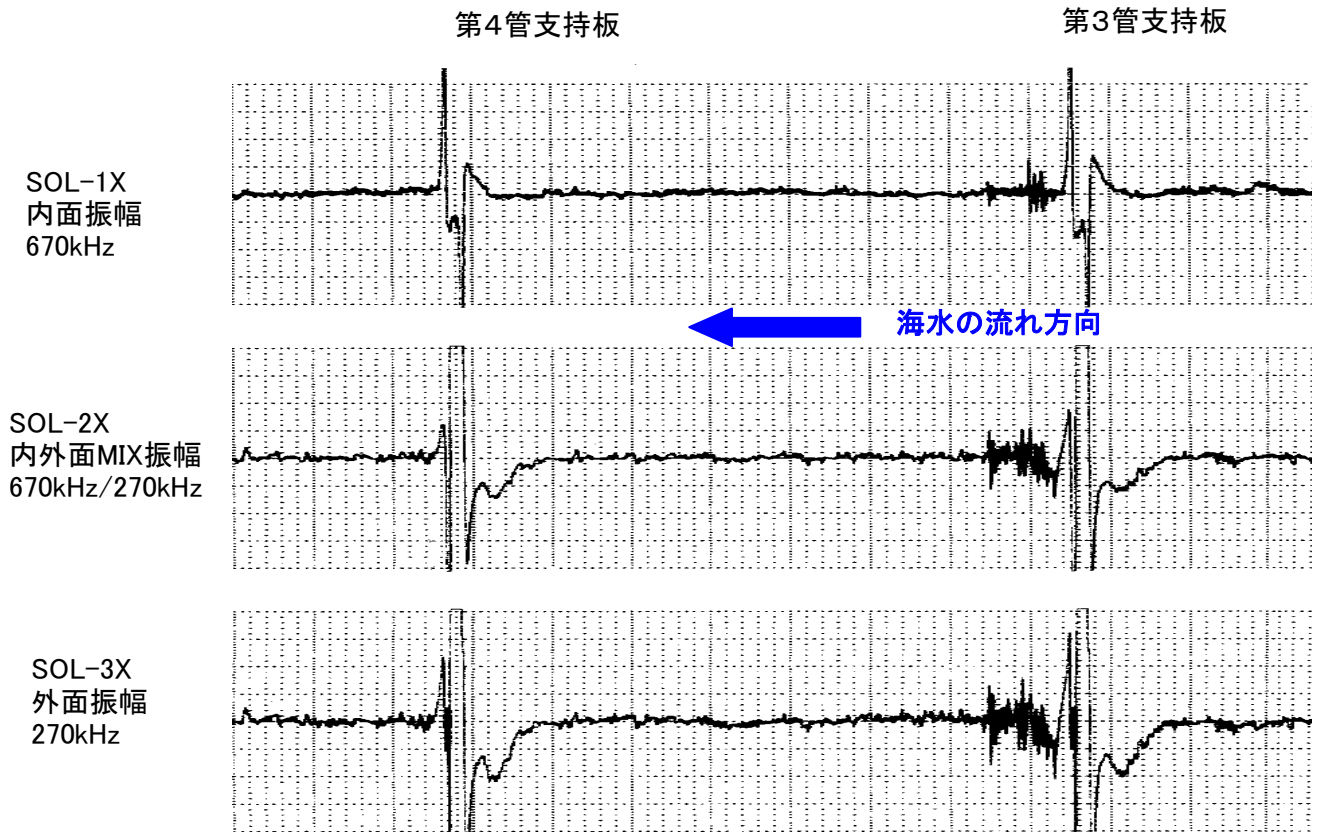
断面ミクロ観察結果[漏えい部周辺]



漏えい細管の高感度ECT結果

・対象細管 : B-D-68-1

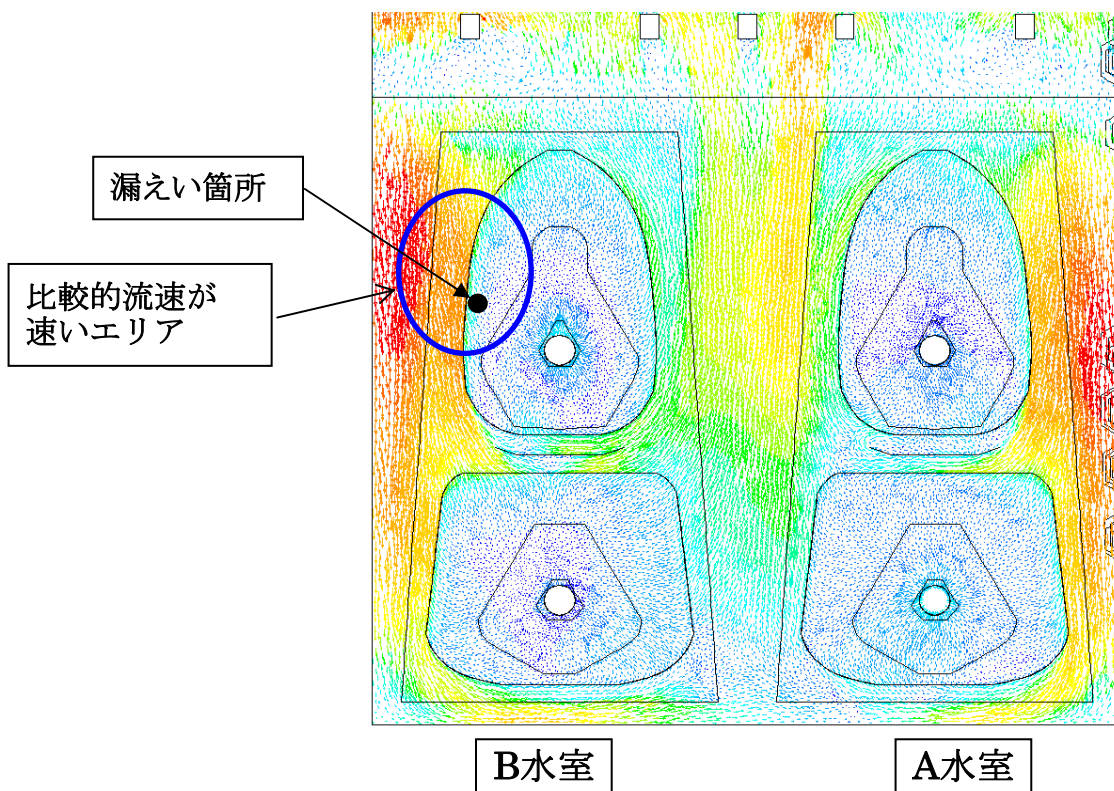
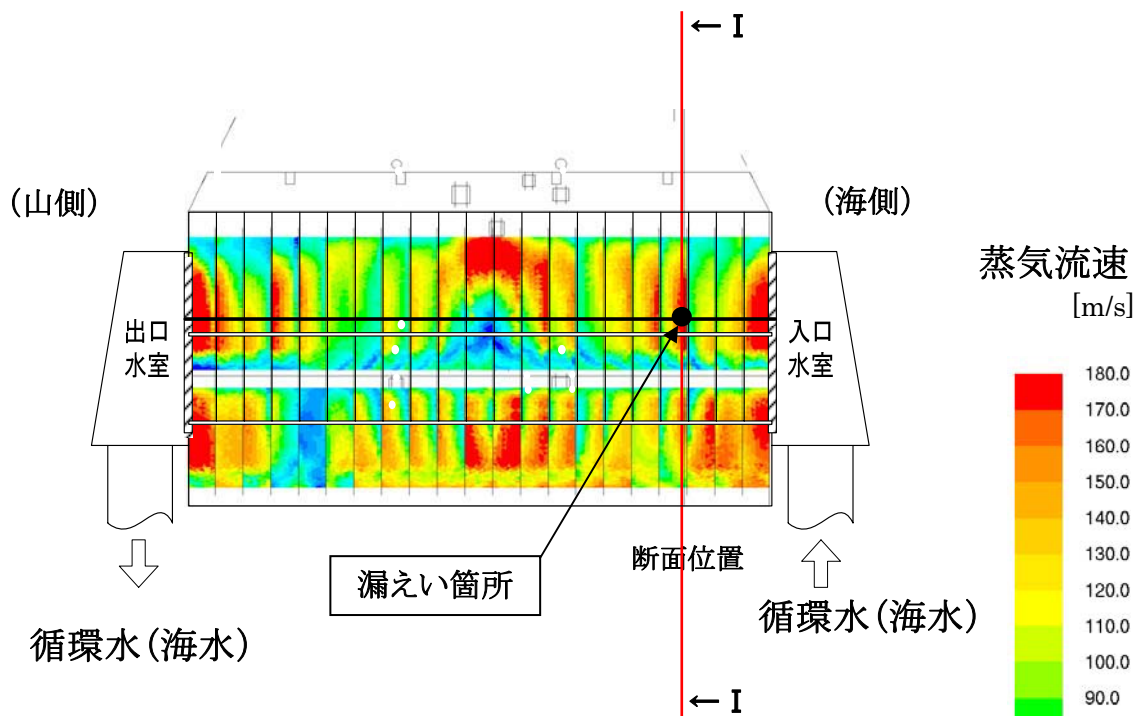
・SOL-1X, 2X, 3X波形



【前回定検時の評価】

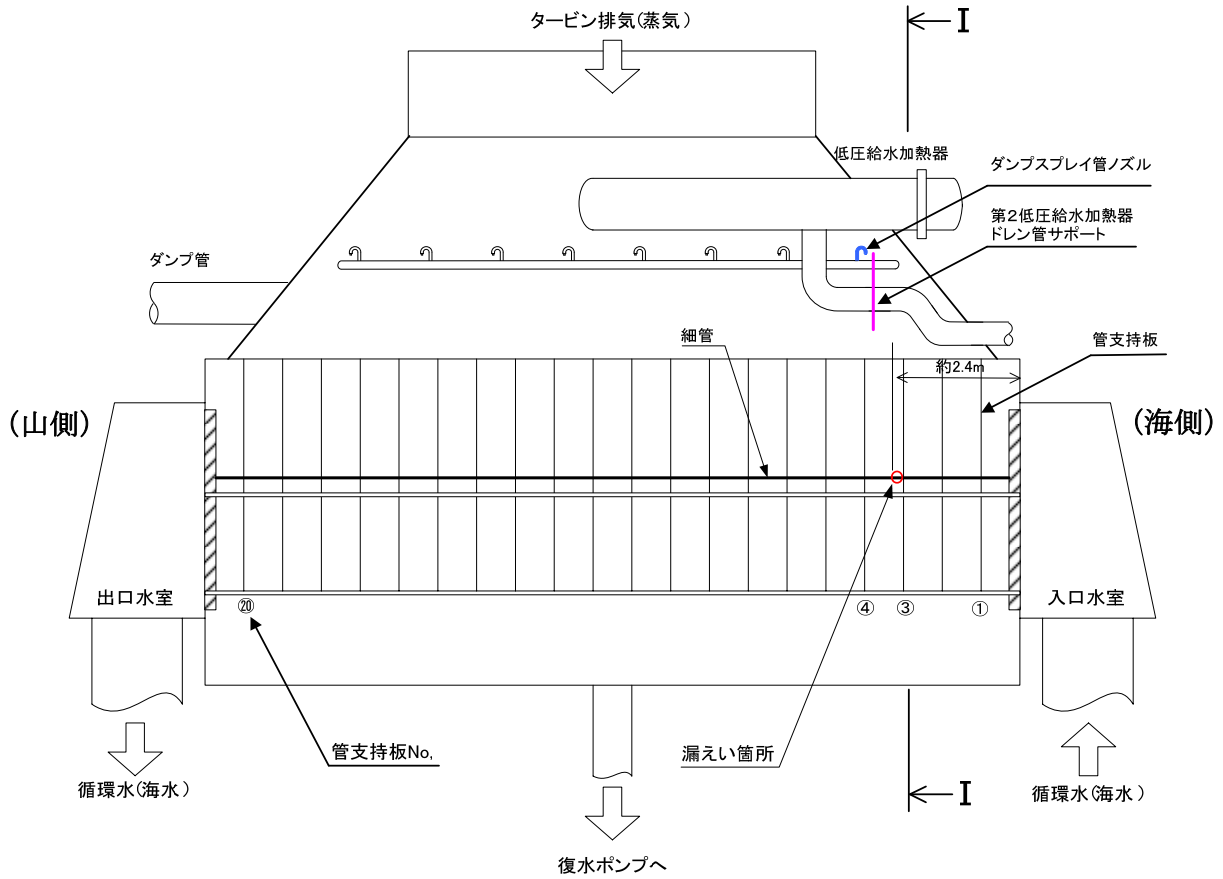
3波形(内面振幅、内外面MIX振幅、外面振幅)とも連続した微小な信号が認められるが、振幅の大きさおよび位相解析結果より、ノイズによる指示と評価されていた。

復水器内の流動解析結果

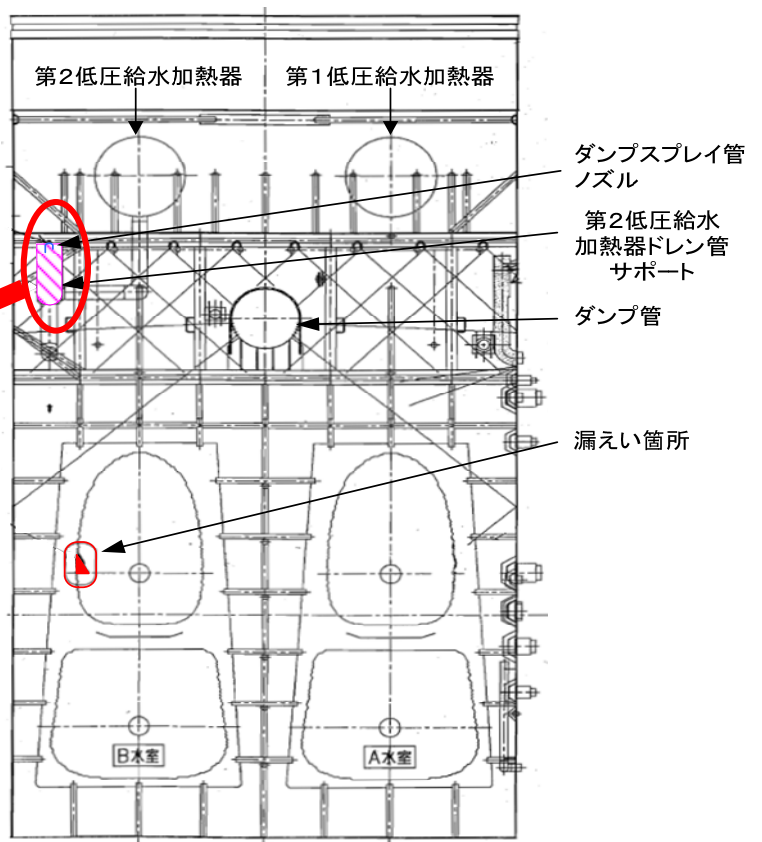


I - I 断面 (海側より見る)

復水器内の管台および内部構造物の調査結果



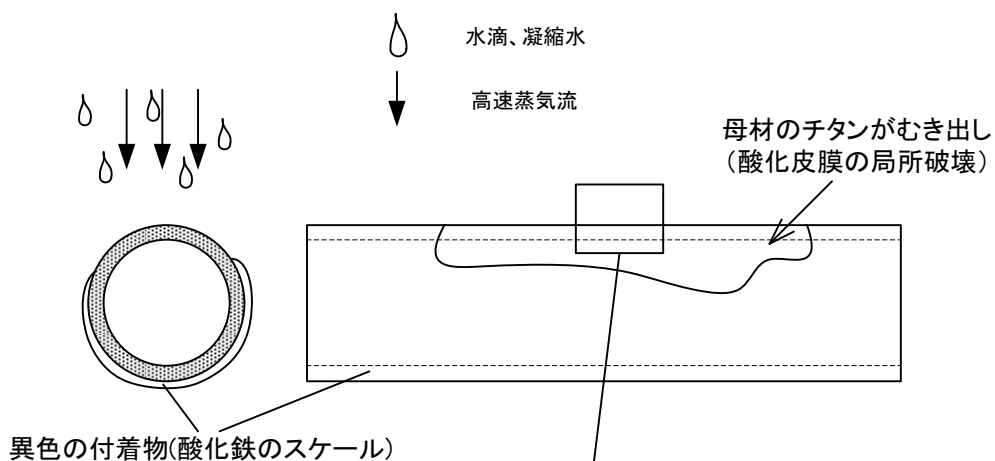
第2低圧給水加熱器ドレン管およびサポート(山側より見る)



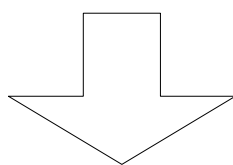
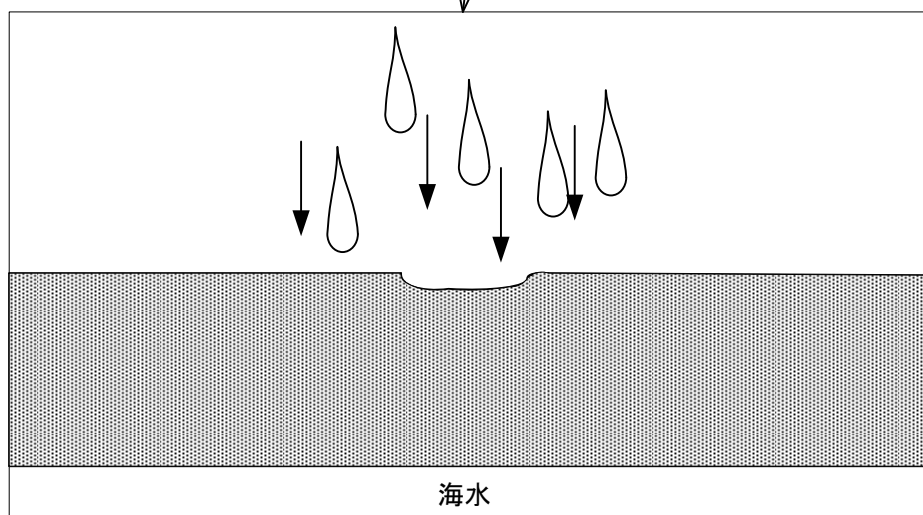
I-I 断面(海側より見る)

チタン管ドロップレットエロージョンの推定メカニズム

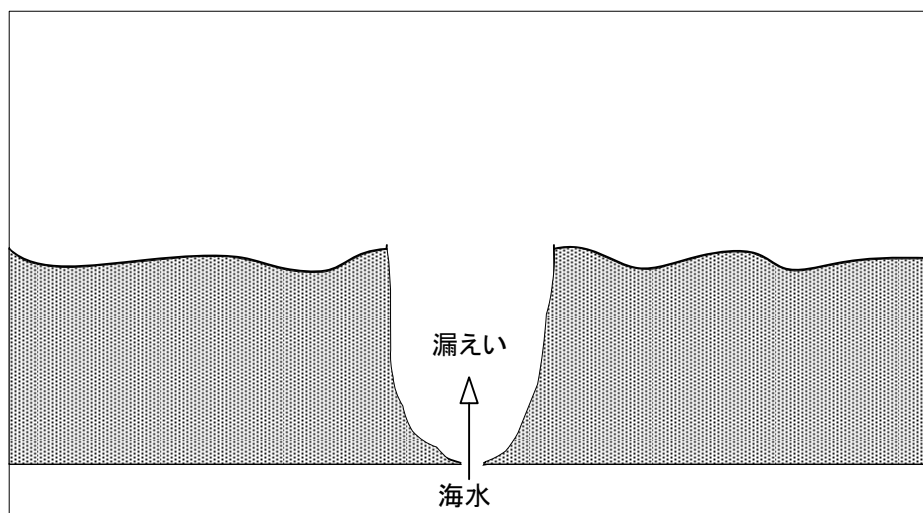
(1) 水滴、凝縮水の落下



(2) 繰返し衝突によるくぼみの生成

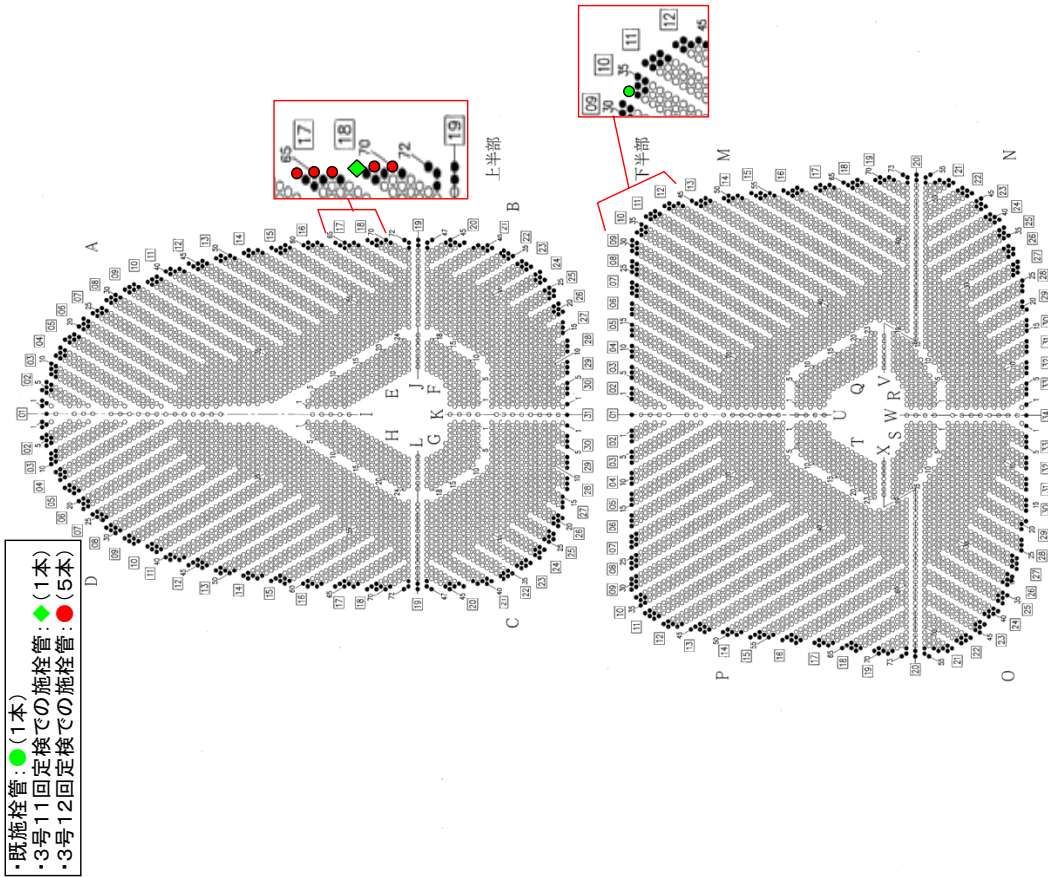


(3) 孔の成長

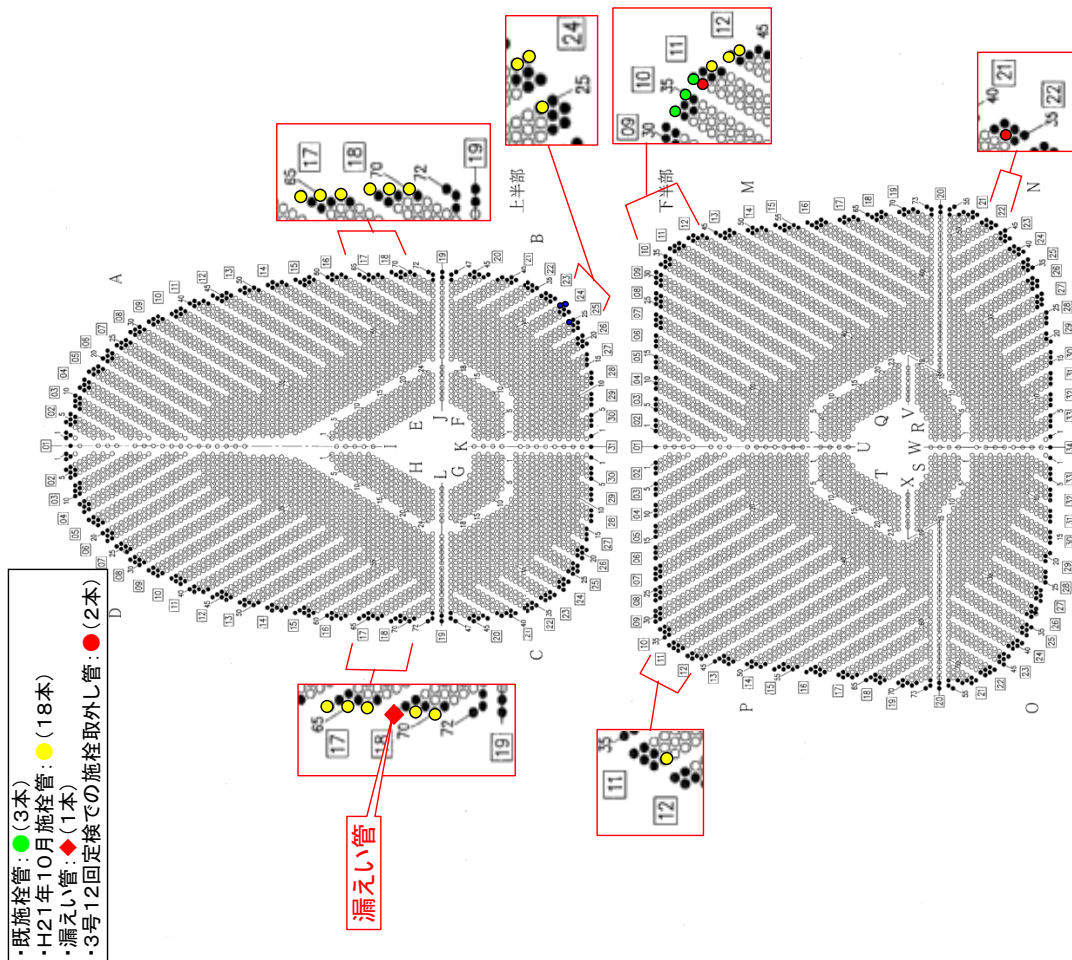


復水器 3 A, 3 B 施栓箇所

復水器 3 A 水室



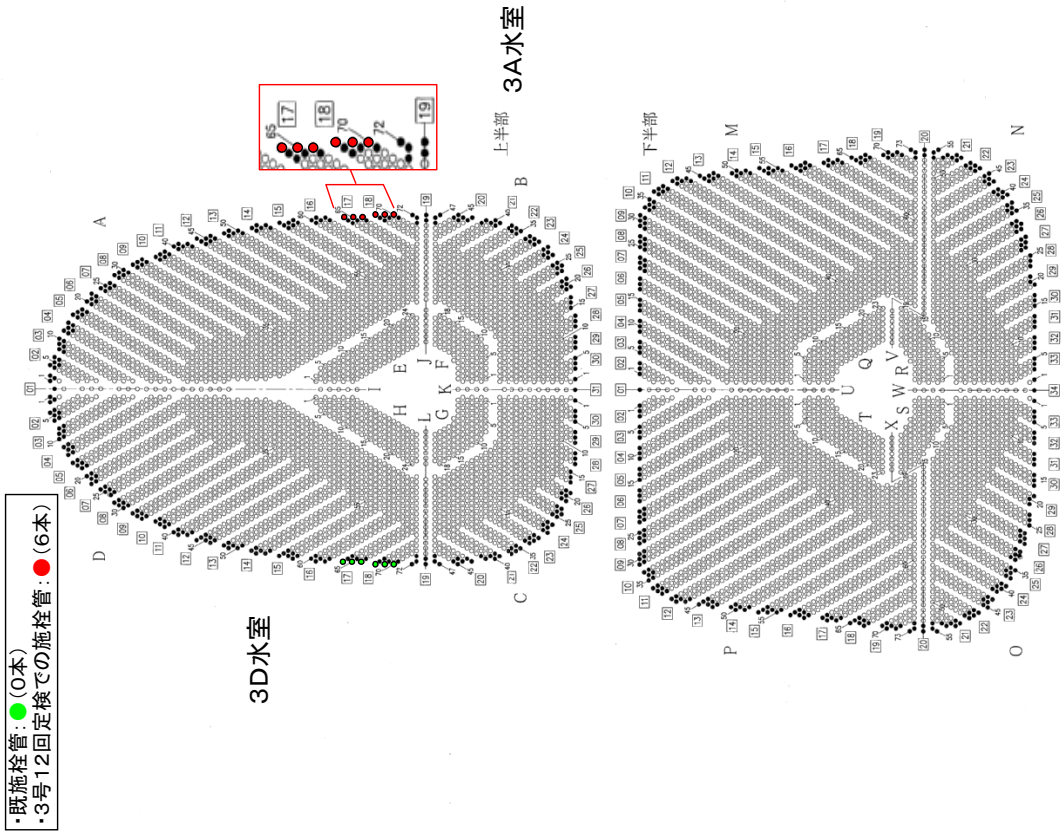
復水器 3 B 水室



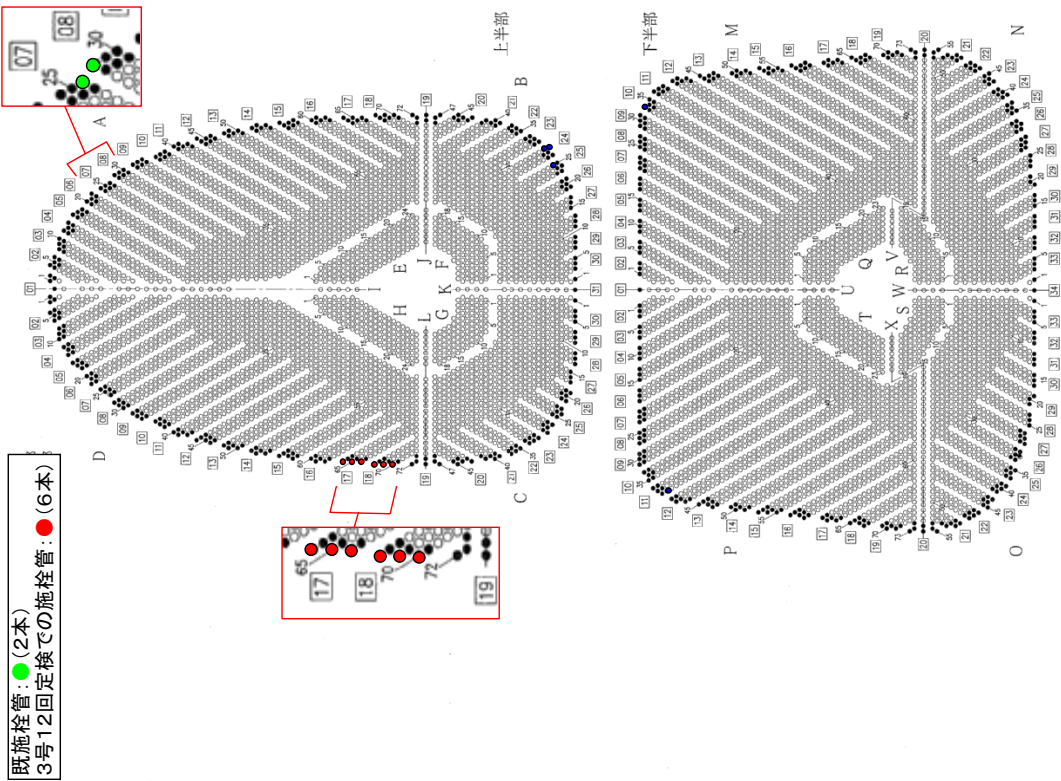
海側より見る

復水器 3 C, 3 D 施栓箇所

復水器 3 C 水室



復水器 3 D 水室



海側より見る