

高浜発電所 4号機
蒸気発生器伝熱管の損傷について
(概要版)

2019年12月6日



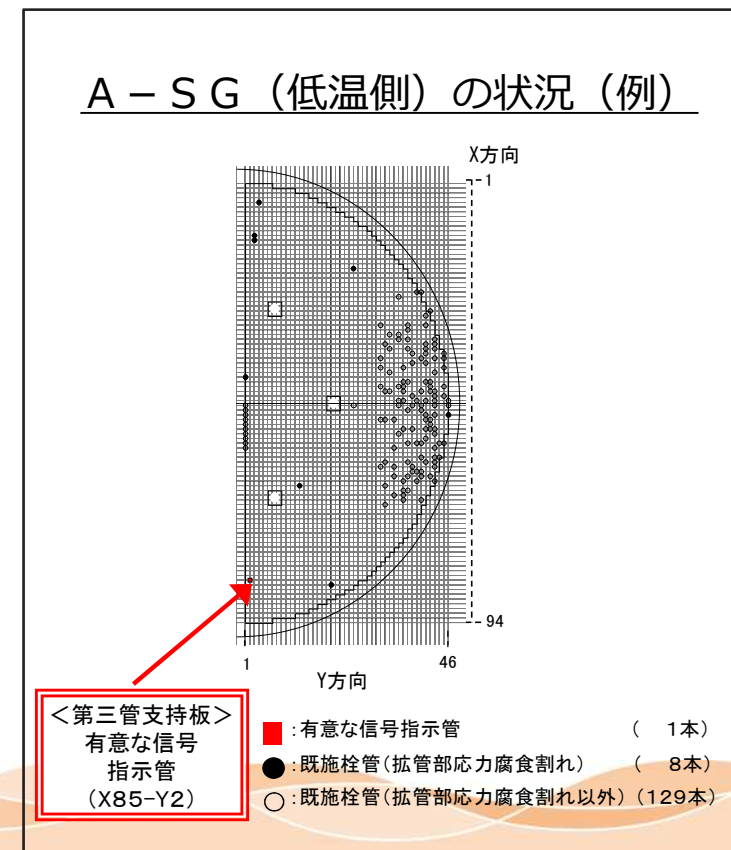
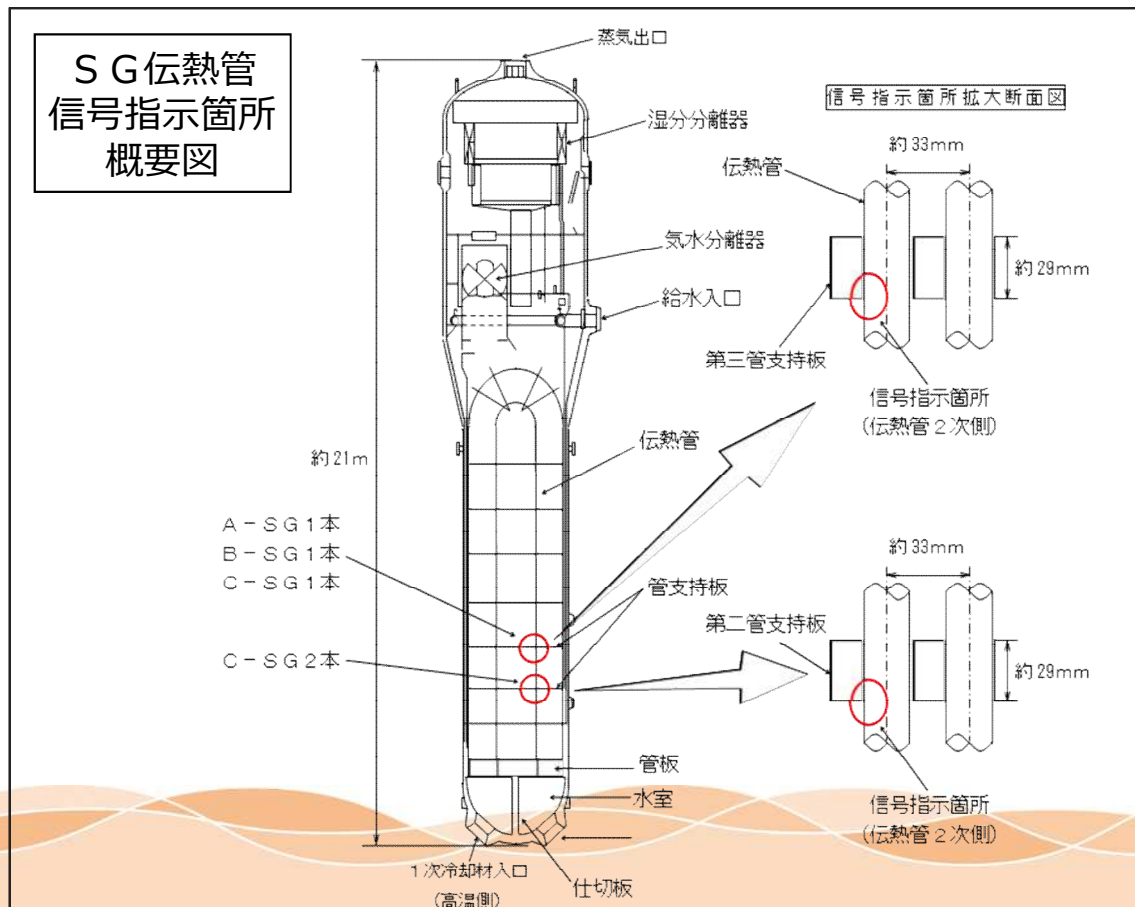
：枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

説明項目		ページ番号
1	事象の概要	3
2	原因調査	7
3	減肉メカニズム	1 5
4	異物流入に関する調査	2 7
5	推定原因	3 3
6	対策	3 4

1. 事象の概要

2019年9月18日からの第22回定期検査において、3台ある蒸気発生器（以下「S G」という。）の伝熱管の健全性を確認するため渦流探傷試験（以下「E C T」という。）を実施した。

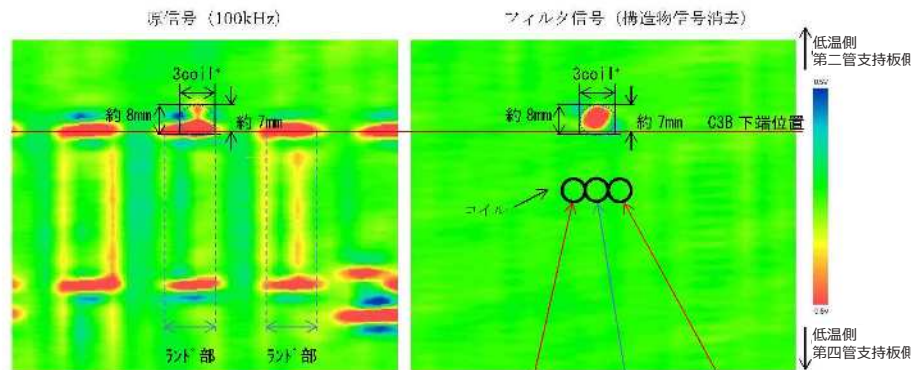
その結果、A - S Gの伝熱管1本、B - S Gの伝熱管1本およびC - S Gの伝熱管3本について、管支持板部付近に、外面からの減肉とみられる有意な信号指示が認められたことから、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則第18条並びに第56条に適合しておらず、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条に該当することを、10月17日10時50分に判断した。



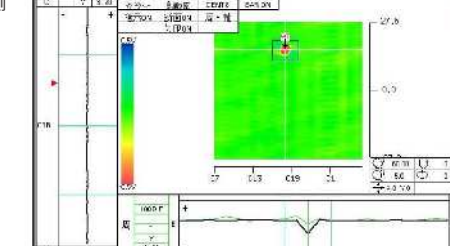
1. 事象の概要 (SG-ECT結果 1/2)

A-SG (X85, Y2) ECT結果

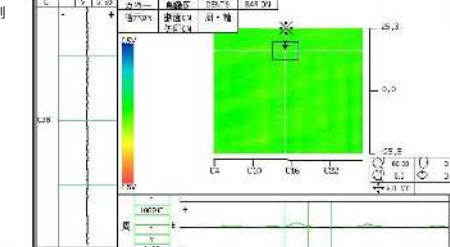
減肉率：約60%



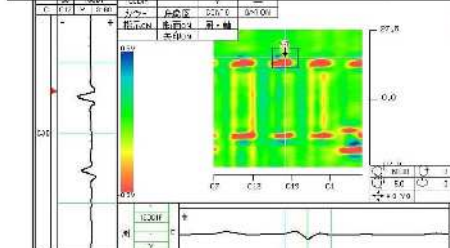
今回フィルタ信号 (構造物信号消去)



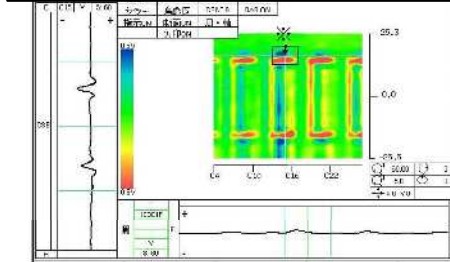
前回フィルタ信号 (構造物信号消去)



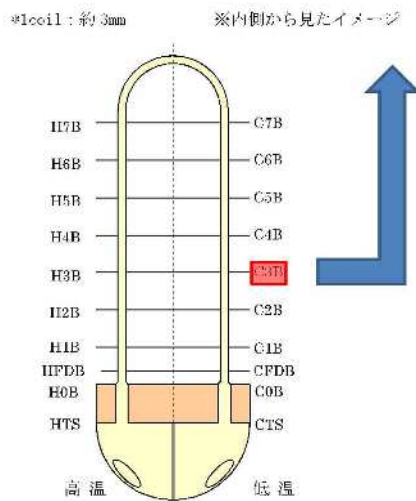
今回原信号 (100 kHz)



前回原信号 (100 kHz)



コイル	C3B	C3C	C3D	C3E
検出	○	○	○	○
位置	1.00	1.00	1.00	1.00
減肉率	200 P	200 P	200 P	200 P
検出	○	○	○	○
位置	1.00	1.00	1.00	1.00
減肉率	200 P	200 P	200 P	200 P
検出	○	○	○	○
位置	1.00	1.00	1.00	1.00
減肉率	200 P	200 P	200 P	200 P
検出	○	○	○	○
位置	1.00	1.00	1.00	1.00
減肉率	200 P	200 P	200 P	200 P



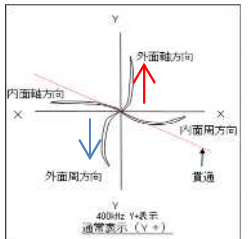
検出	C3B	C3C	C3D	C3E
検出	○	○	○	○
位置	1.00	1.00	1.00	1.00
減肉率	200 P	200 P	200 P	200 P
検出	○	○	○	○
位置	1.00	1.00	1.00	1.00
減肉率	200 P	200 P	200 P	200 P

【A-SG X85-Y2 ガサージェ波形式】
 さず器部の軸方向成分(赤色部)を検出
 きず中心部の周方向成分(青色部)を検出

波形評価

- ・位相角評価から、外面指示の特徴を持っている。
- ・指示は複数のコイルで検出されており、指示の中心部のコイルは周方向成分、両端部のコイルでは軸方向成分の特徴を持っている。

上記の通り軸方向成分及び周方向成分の両方の成分が読み取れるため、広がりを持つ減肉と評価する。(下図参照)



※特異な信号がないため任意の位置で表示。

前今比較

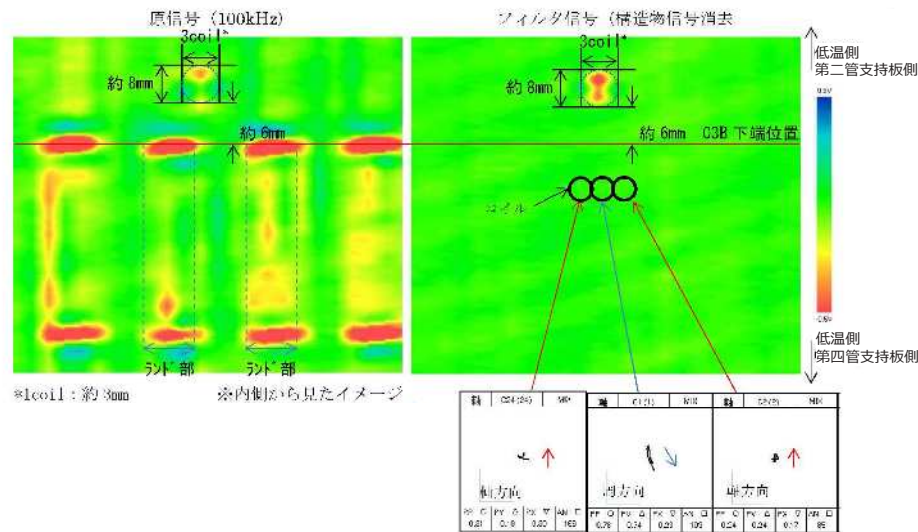
信号評価

A-SG X85 Y 2 部位 : C3B

1. 事象の概要 (SG-ECT結果 2/2)

B-SG (X92, Y8) ECT結果

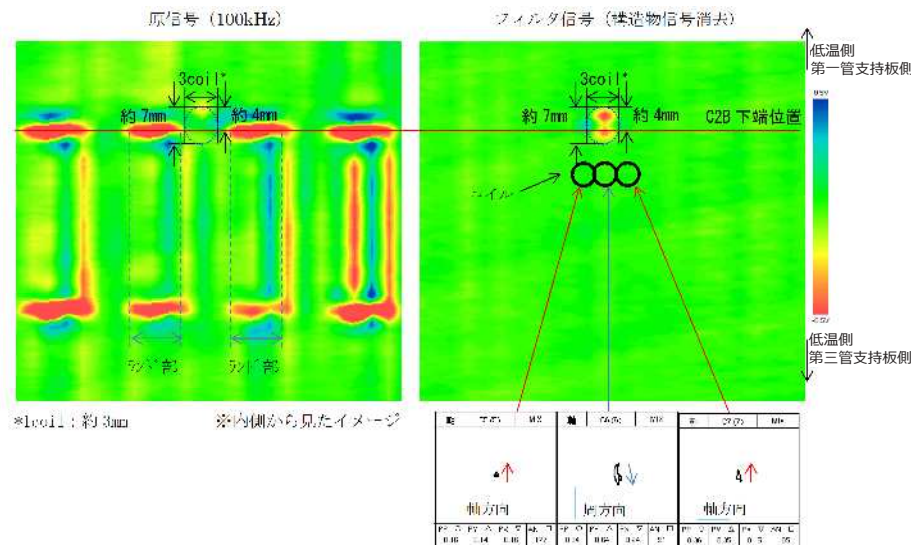
減肉率：約50%



【B-SG X92-Y8 リサージュ波形】

C-SG (X91, Y4) ECT結果

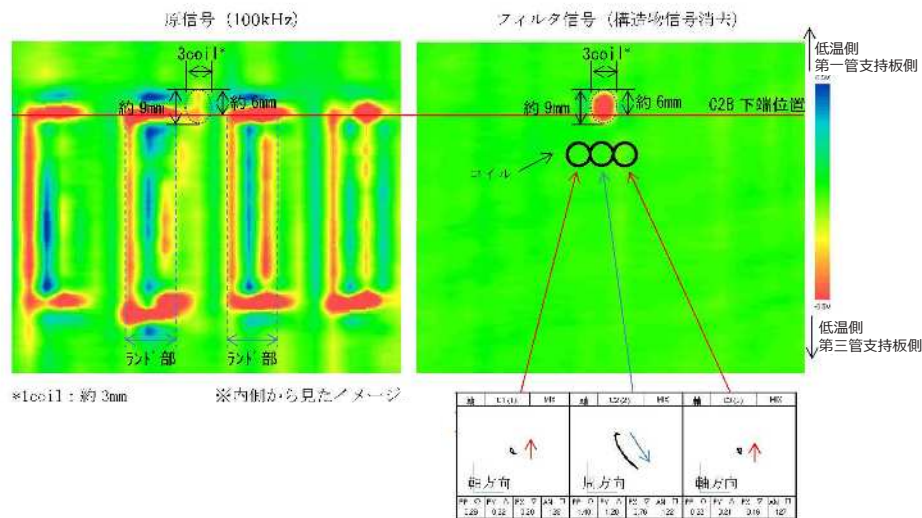
減肉率：約40%



【C-SG X91-Y4 リサージュ波形】

C-SG (X45, Y5) ECT結果

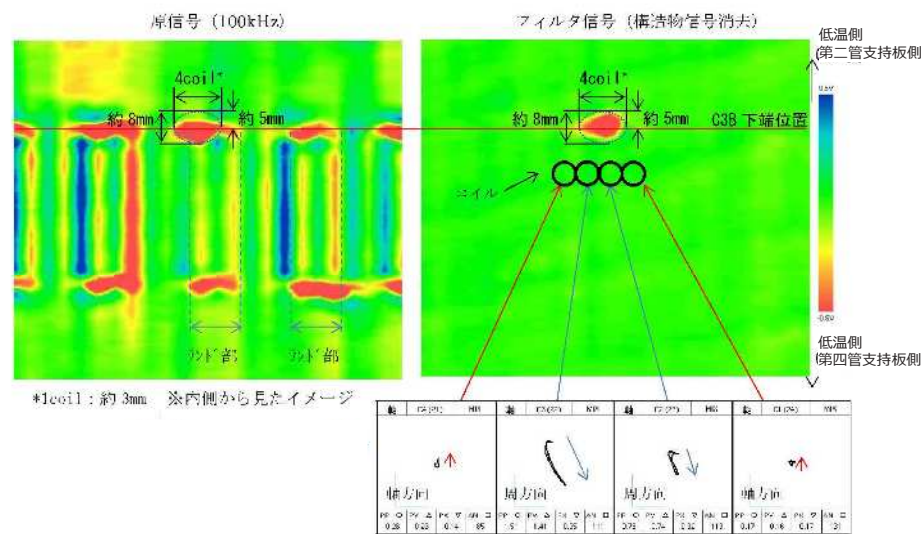
減肉率：約60%



【C-SG X45-Y5 リサージュ波形】

C-SG (X52, Y9) ECT結果

減肉率：約60%



【C-SG X52-Y9 リサージュ波形】

1. 事象の概要 (減肉伝熱管 2次側からの確認結果)

E C Tで減肉とみられる信号指示が認められた伝熱管を、2次側から小型カメラにて点検した結果、摩耗減肉痕とみられる箇所が認められた。

なお、E C Tの信号指示による位置およびサイズと相違はなかった。

○ A - S G

第三管支持板：長さ 約 6 mm、幅 1 mm以下 (X85,Y2)

○ B - S G

第三管支持板：長さ 約 5 mm、幅 約 1 mm (X92,Y8)

○ C - S G

第二管支持板：長さ 約 4 mm、幅 1 mm以下 (X45,Y5)

第二管支持板：長さ 約 5 mm、幅 2 mm以下 (X91,Y4)

第三管支持板：長さ 約 8 mm、幅 1 mm以下 (X52,Y9)

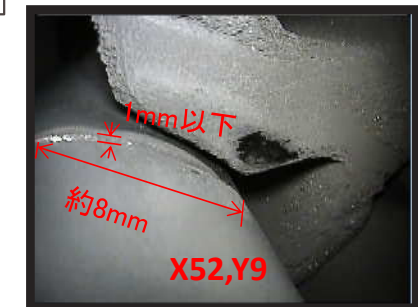
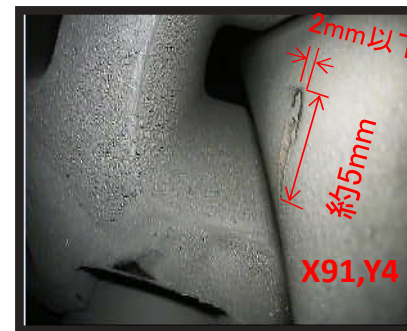
A - S G



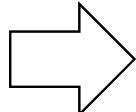

B - S G



C - S G



2. 原因調査 (要因分析に基づく調査)

- S G伝熱管内面（1次側）からの損傷
E C Tの信号指示を確認した結果、伝熱管内面（1次側）にきずがないことを確認。
- S G伝熱管外面（2次側）からの損傷
 - ・ 粒界腐食割れ、ピitting、リン酸減肉発生の可能性について確認した結果、4号機では良好な水質が維持されており、発生の可能性はない。また、カメラによる外観観察結果からも、これらの損傷ではないことを確認。
 - ・ 管支持板との接触による摩耗減肉は、E C T結果から周方向に1ヶ所にしか減肉指示が確認されていないことから、管支持板との接触・摩耗によって発生した減肉ではない。
 - ・ E C Tの信号指示を確認した結果、デンティングではない。
 - ・ 管支持板部の流れによる伝熱管の管支持板部の応力は、疲労限に比べ非常に小さく、流体振動による疲労損傷は発生しない。
 - ・ 当該部流速は約3 m/sであり、かつ、T T 6 0 0合金は耐エロージョン性が高いことから（室温条件では約70 m/s以上がエロージョン発生領域）、エロージョンの発生はない。
 - ・ S G器内発生物・S G器外流入物との接触による損傷の可能性  
- 損傷以外のE C T信号指示
局所的なスケールの剥離は、減肉と識別できることから、今回の信号は、スケールの剥離ではない。

S G器内の管板、流量分配板、第一および第二管支持板の上面の全ての範囲並びに第二および第三管支持板の下面の減肉指示が確認された伝熱管周辺部についてカメラによる目視点検を実施

- 伝熱管から剥離したスケール (以下、スラッジという。) が S G器内の各所に確認された。
- A - S Gの第一管支持板上 (X39,40、Y22,23) に、金属片が確認された。成分分析の結果、オーステナイト系ステンレス鋼が主体であり、表面観察の結果、伝熱管との接触に伴う摺動痕はないことが確認された。
- B, C - S G器内にはスラッジ以外の異物は確認されなかった。

【A - S G】

<器内のスラッジ>



スラッジ

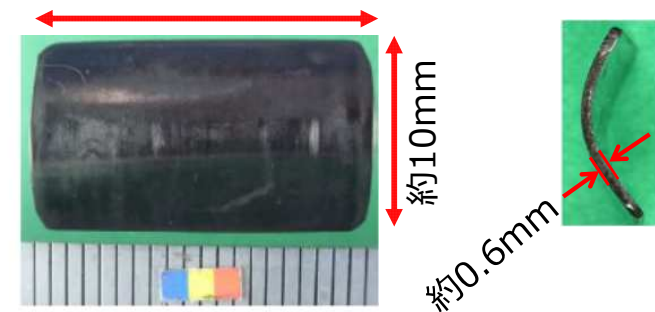
<確認された金属片>



金属片

【確認された金属片】

約20mm



- SUS304相当
- 重量：約1g
- 伝熱管との接触に伴う摺動痕がないことを確認

管板部に堆積したスラッジを除去するスラッジランシング等を実施した結果、スラッジ以外の異物は確認されなかった。

また、更なる異物調査として、SG器内に水を張り、底部からN₂を噴射 (バブリング)させたのち、水を抜くことによる異物回収を実施した結果、スラッジ以外の異物は確認されなかった。

【N₂バブリングの概要】



異物回収結果 (スラッジのみ)



A - SGの例

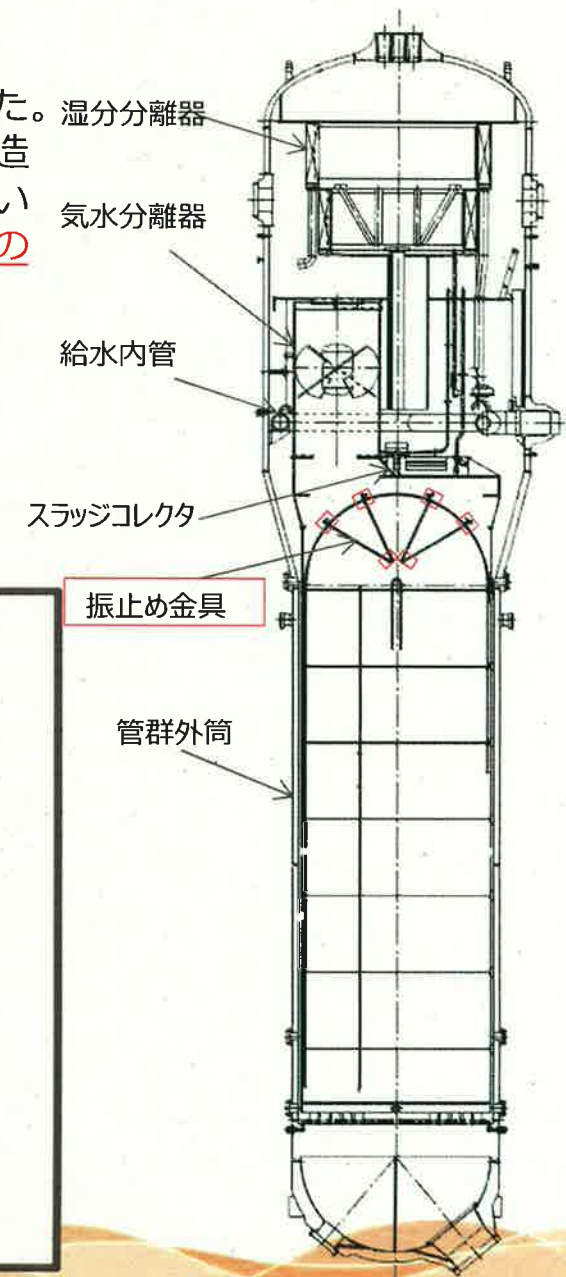
2. 原因調査 (SG内部品の脱落調査 1 / 2)

○今回の異物の想定形状（薄片）*に対して、SG内部品で該当する形状があるかを設計図面により確認した。

- ・ 振止め金具のキー固定板等が、内部品として使用されていることを確認した。
- ・ これらの内部品は、溶接止めされていること又は周囲を溶接止めされた構造物に囲まれており、万が一、脱落したとしても周囲の構造物の外にはでないこと、さらに、サイズが異物の想定形状にも合致しないことから、**内部品の脱落の可能性はない**と考えられる。

* 異物の想定形状については、「3. 減肉メカニズム」の項で後述する。

内部品	部品名	サイズ(mm)	
		板厚	長さ/幅
振止め金具	キー固定板	0.61	約31 / 約12
振止め金具	板ばね	0.25	約53 / 約18



□ : 枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○ S G器内の2次側の経年劣化事象を起因とする脱落については、流れ加速型腐食による給水内管裏当金の脱落が考えられる。

当該部のカメラによる目視点検を実施した結果、給水内管裏当金の溶接部に損傷は確認されなかった。

○ A - S Gで発見された金属片は、S U S 3 0 4相当品であることから、S G内部品ではないことを確認した。



給水内管裏当金部点検結果（例）
（B - S G：損傷なし）

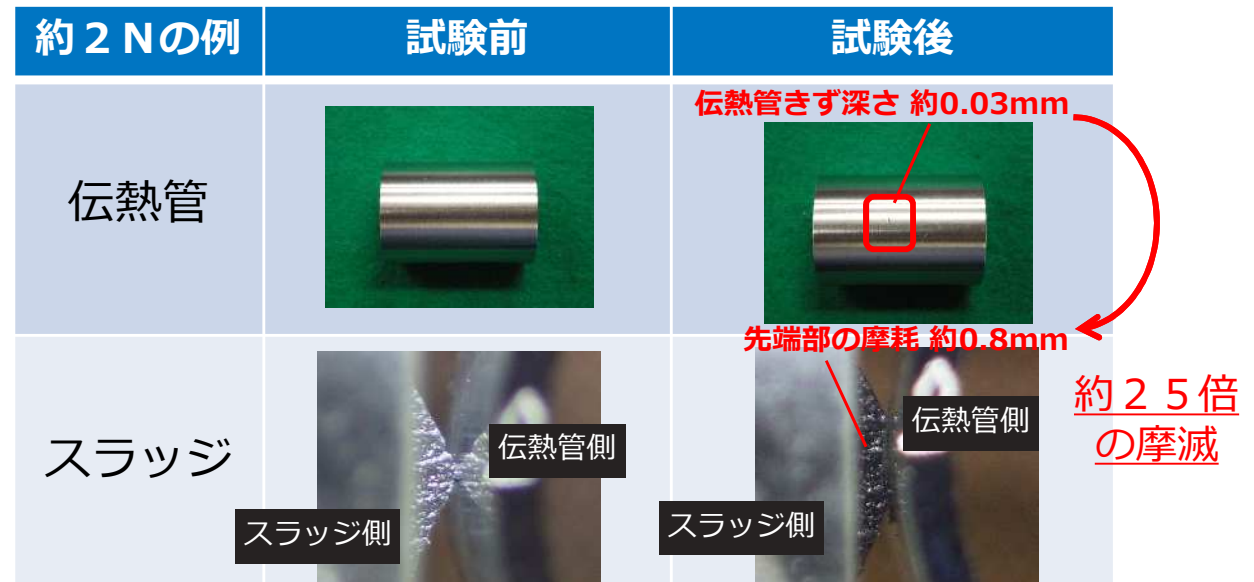
S G 2次側内部品	材料
湿分分離器	炭素鋼、低合金鋼
気水分離器	炭素鋼、低合金鋼
給水内管	炭素鋼、低合金鋼
スラッジコレクタ	炭素鋼、ステンレス鋼 (SUS416)
振止め金具	超合金、インコル690 ステンレス鋼(SUS410,SUS405)
管群外筒	炭素鋼

- スラッジは、マグネタイト (Fe_3O_4) の付着がベースとなって形成されており、マグネタイト単体としては伝熱管よりも硬いものの、スラッジ内には空隙が存在するため、スラッジ自体は脆い性質であると考えられる。
- スラッジによる伝熱管摩耗試験を実施した結果、押付力が10 N以上の条件ではスラッジ自体が破損し、摩耗減肉を発生させることはできなかった。
- このため、押付力を約2 Nおよび約1 Nの条件に下げて実施した結果、伝熱管に軽微なきずは付くものの、スラッジ先端部は摩滅した。

以上より、スラッジとの接触によって伝熱管が摩耗減肉する可能性は低いと考えられる。



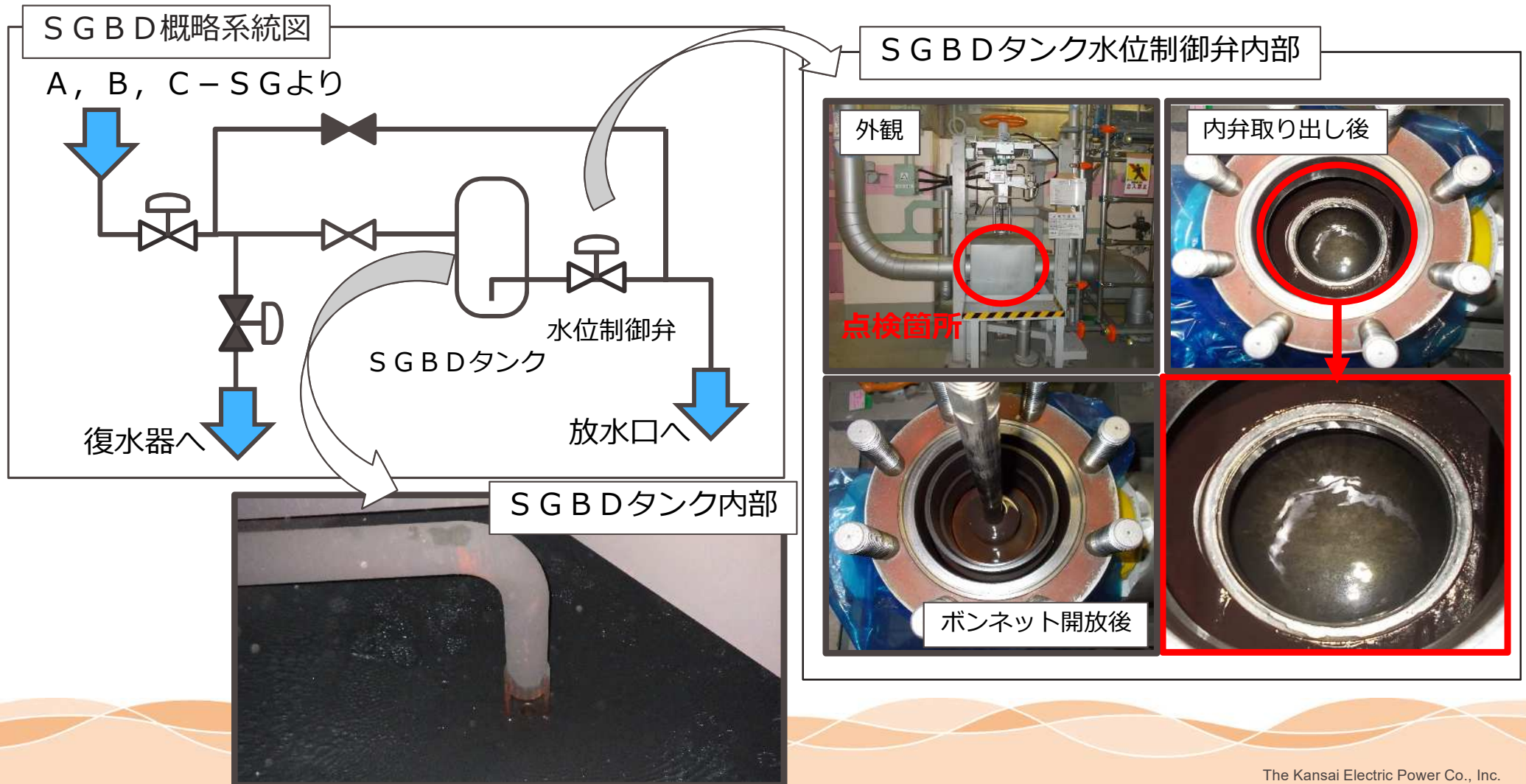
スラッジの断面観察結果
(C-SGより採取)



2. 原因調査 (SG器外 (SGブローダウン系統) 目視点検結果) 13

摩耗減肉を発生させた原因となる異物は、SG器内で発見されなかったことから、SGブローダウン (SGBD) 系統からSG器外へ流出したと想定される。

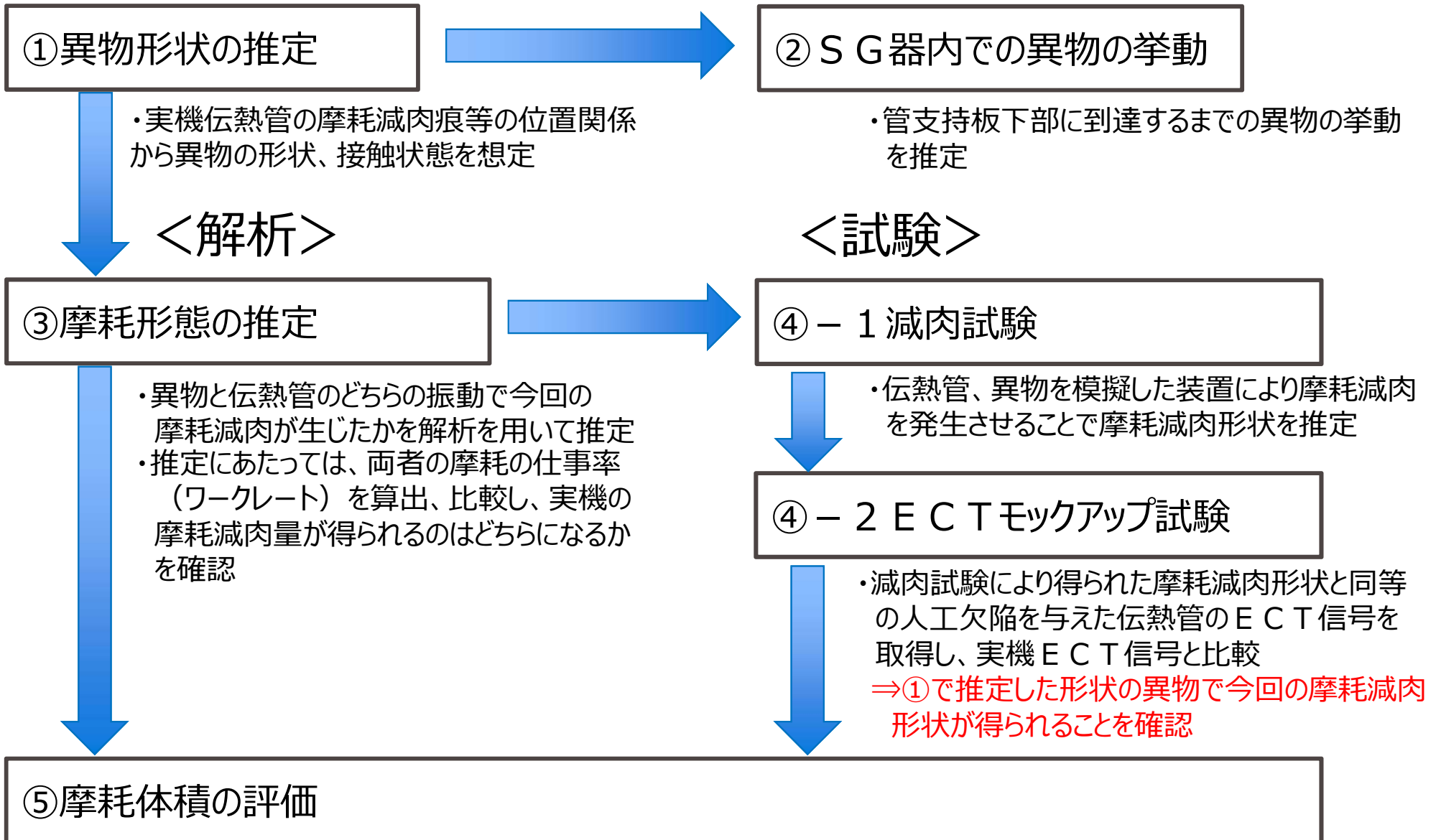
SGBD系統のうち残留異物が滞留する可能性がある機器であるSGBDタンクや水位制御弁等について、機器等を開放し、内部の目視点検を実施した結果、異物は確認されなかった。



- S G内部品が脱落した可能性はない。
- スラッジとの接触により伝熱管が摩耗減肉する可能性は低い。
- A - S Gで確認された金属片は、伝熱管との接触に伴う摺動痕がないため、摩耗減肉の直接の原因ではない。
- 確認された金属片と同様に、異物がS G器外から流入した可能性は否定できない。
- 伝熱管に損傷を与えたと推定される異物は発見されなかった。

以上のことから、S G器外から流入した異物により伝熱管が摩耗減肉した可能性が高いと考えられる。

○減肉メカニズムについて、解析および試験により検証を実施

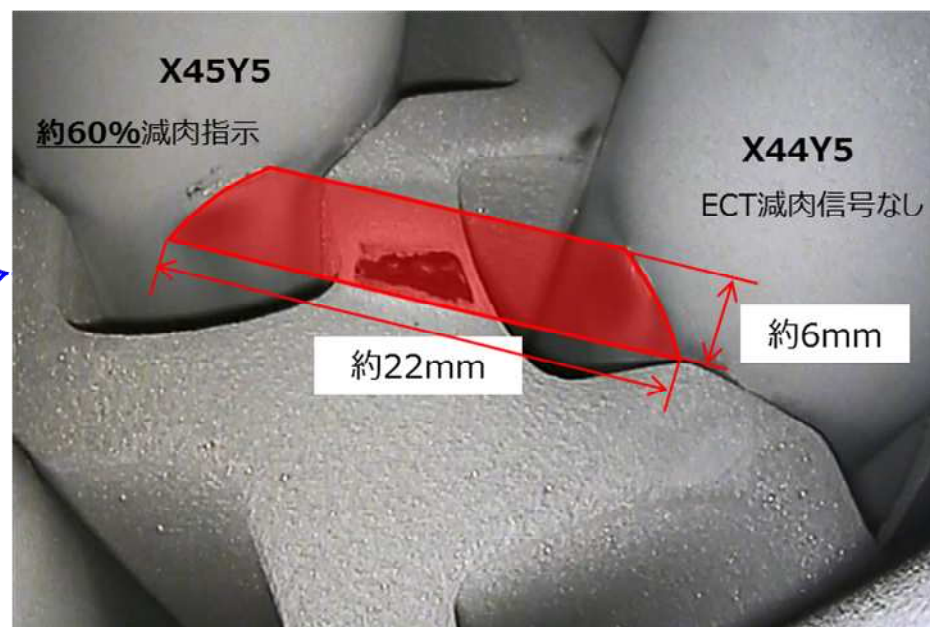
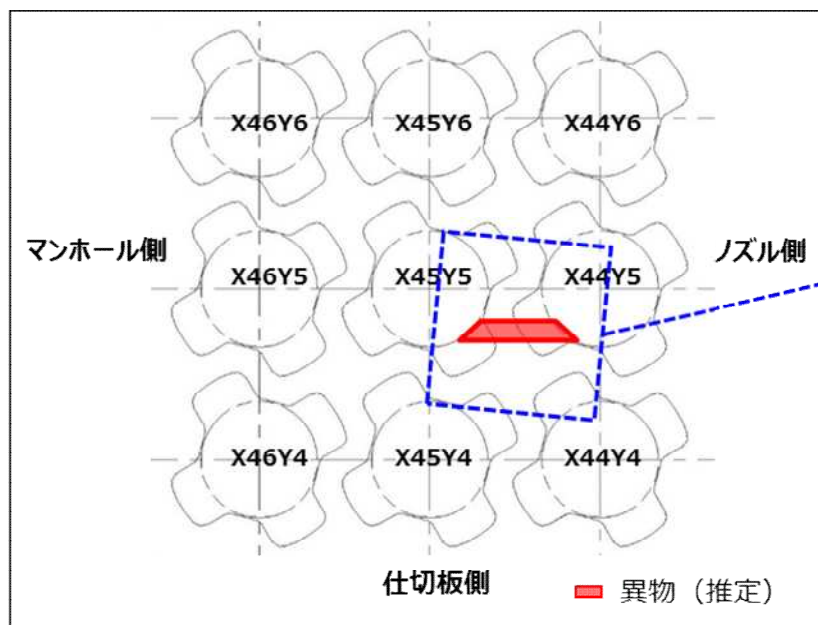


・③のワークレートを用いて算出した摩耗体積と、④-2の人工欠陥の体積との比較を実施
⇒推定した摩耗形態（伝熱管振動）により今回の摩耗量が1サイクルで発生し得ることを確認

○摩耗減肉痕等の位置関係から、摩耗減肉を生じさせた異物の形状について次のとおり推定した。

C - S G

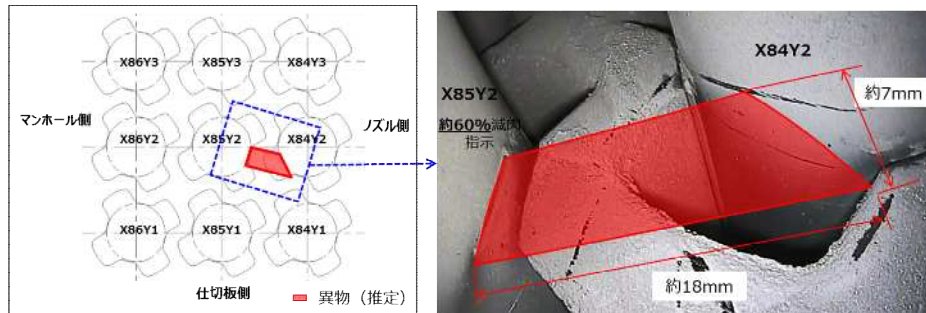
- ・第二管支持板：長さ約22mm、幅約6mm、厚さ1mm以下(X45,Y5)



3. 減肉メカニズム (①異物形状の推定 2 / 2)

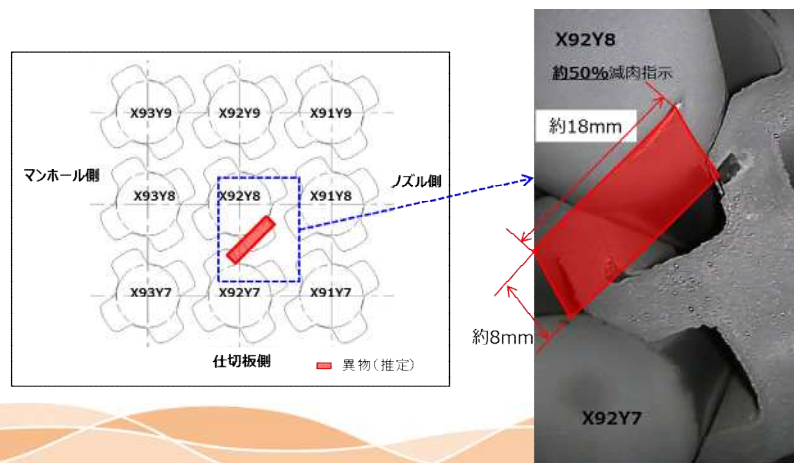
A - S G

- ・ 第三管支持板：長さ約 18 mm、
- ・ 幅約 7 mm、厚さ 1 mm 以下(X85,Y2)



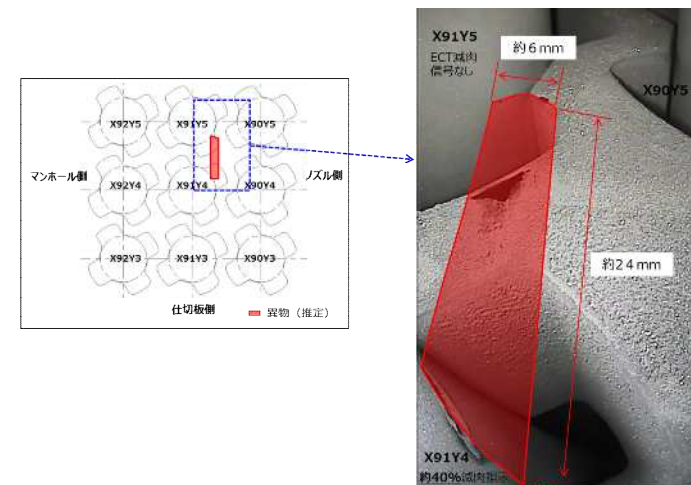
B - S G

- ・ 第三管支持板：長さ約 18 mm、
- ・ 幅約 8 mm、厚さ 1 mm 以下(X92,Y8)



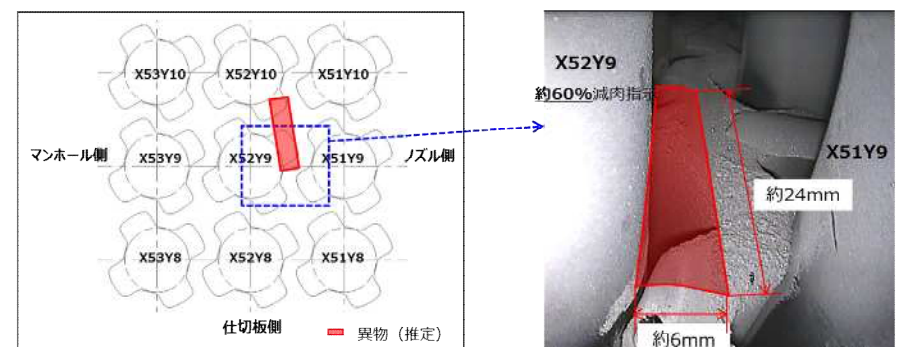
C - S G

- ・ 第二管支持板：長さ約 24 mm、
- ・ 幅約 6 mm、厚さ 1 mm 以下(X91,Y4)



C - S G

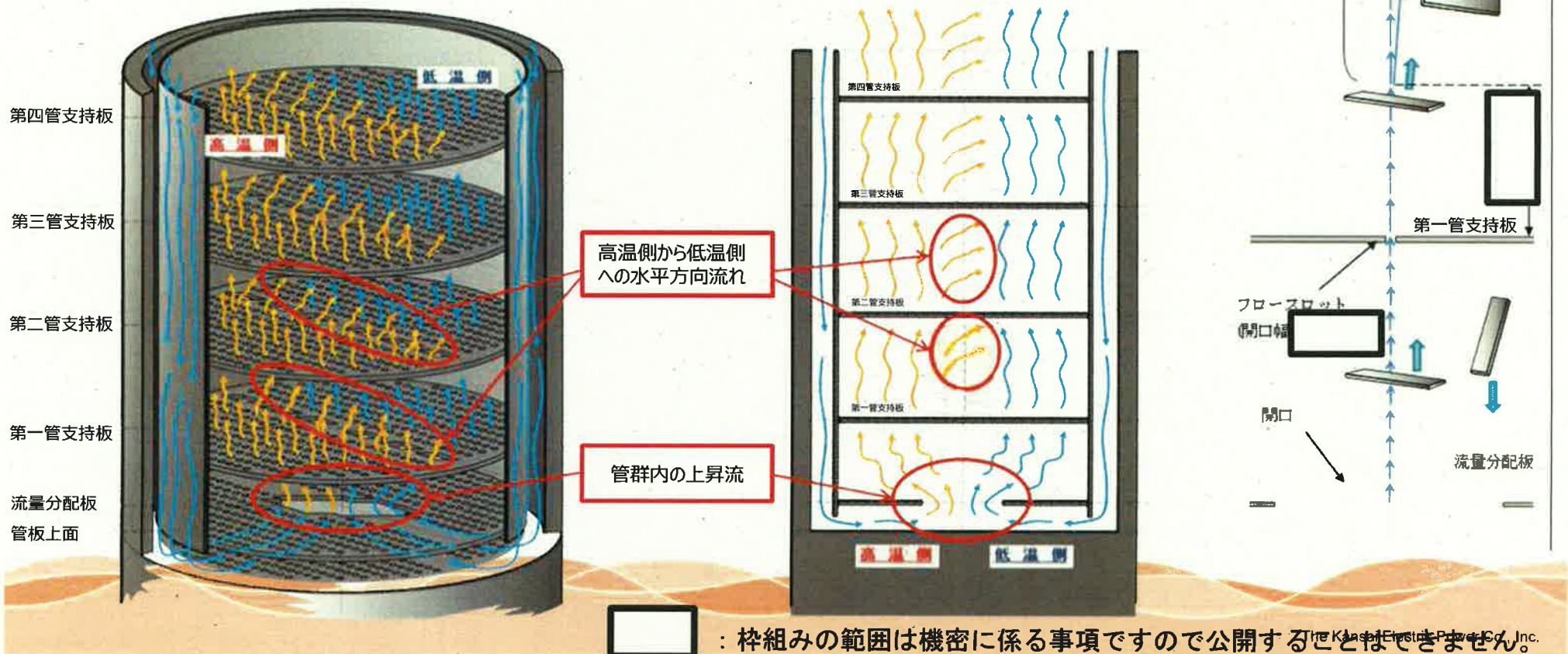
- ・ 第三管支持板：長さ約 24 mm、
- ・ 幅約 6 mm、厚さ 1 mm 以下(X52,Y9)



3. 減肉メカニズム (② S G器内での異物の挙動 1 / 2)

○ 3次元熱流動解析を実施した結果、異物はS G器内に流入後管板上へ到達し、管群内の上昇流に乗って流量分配板および各管支持板フロー SLOT部を通過したと考えられる。

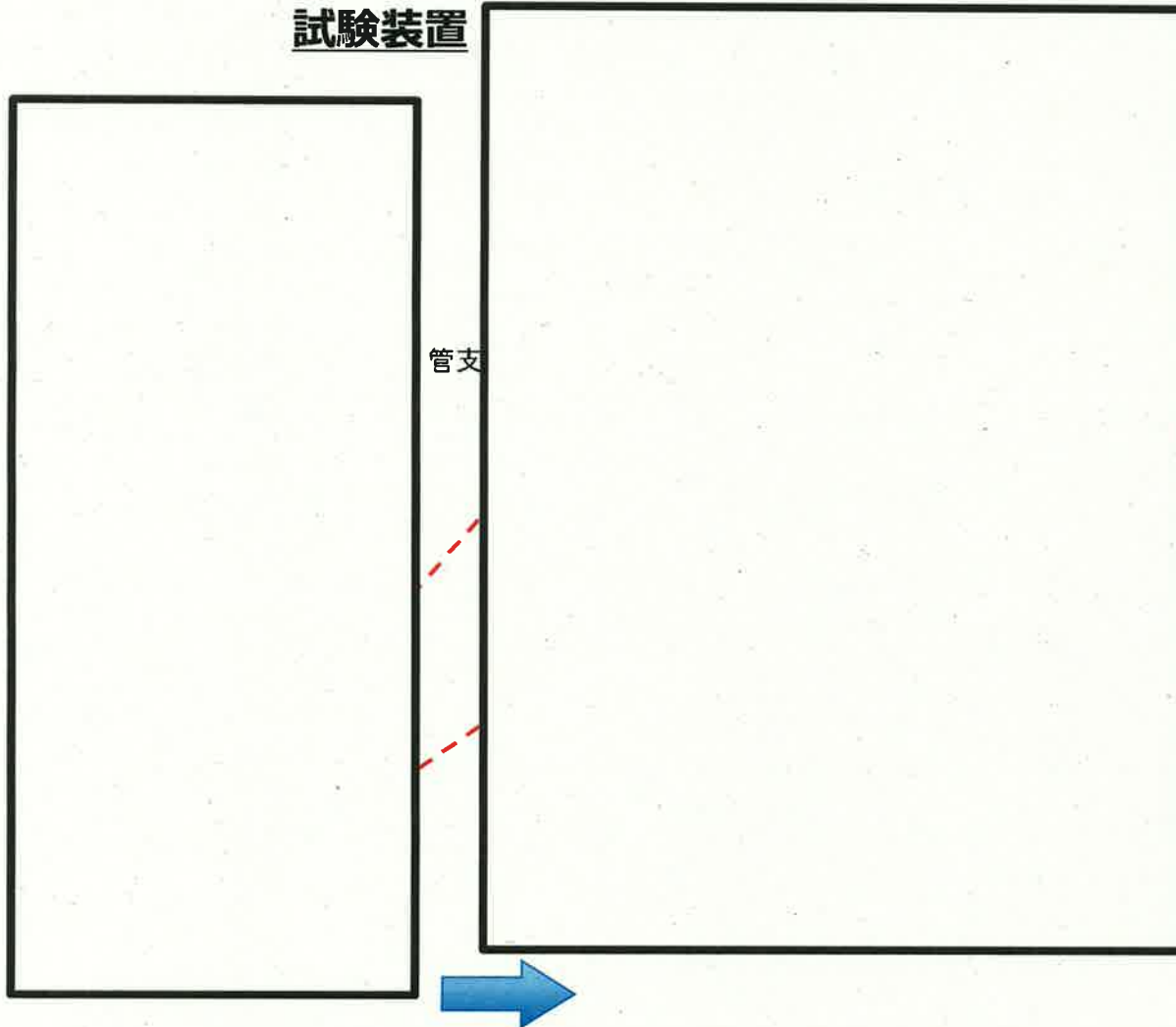
○ 第一管支持板より上方では、上昇流に加え高温側から低温側への水平方向流があることから低温側へ流れ、第二管支持板の低温側下面、又は第三管支持板の低温側下面に至ったものと推定される。



3. 減肉メカニズム (②SG器内での異物の挙動2/2)

○SG 2次側の流況モックアップ試験（水空気試験）を実施し、運転中の流体力により管支持板下面で異物が保持されるか確認を行った。

試験装置



試験条件

- ・試験流速：
- ・模擬異物形状：22mm×6mm×0.3mm
(C-SG：X45, Y5で代表)

装置断面

伝熱管5×5管群

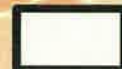
試験結果

管支持板下面で保持されることを確認



模擬異物

3次元熱流動解析で得られるSG 2次側流況を再現



：枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○管支持板下面で発生した摩耗減肉は、以下の2つのケースが考えられる。

- ・異物の振動による摩耗
- ・伝熱管の振動による摩耗

○減肉量（摩耗体積）は、下記の一般式を用い算出できることから、ワークレートを求め、摩耗体積の評価を行う。

<Archardの式>

$$V = W_s \times \underbrace{F \times v}_{W_R} \times T$$

V : 摩耗体積 [m³]

W_s : 比摩耗量（材質の組合せと摩耗モードで決まる材料係数：SUS304と想定） [m²/N]

F : 押付力 [N]

T : 運転時間 [s]

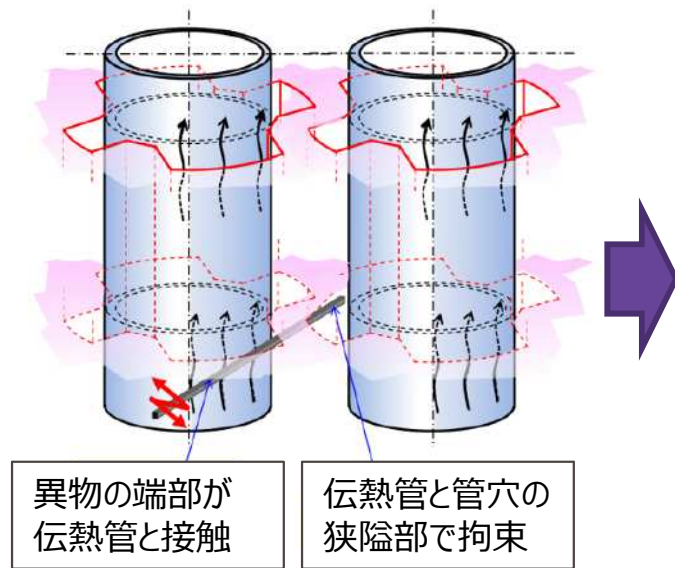
v : 摺動速度 [m/s]

W_R : ワークレート (= $F \times v$: 摩耗を生じさせる仕事率) [W]

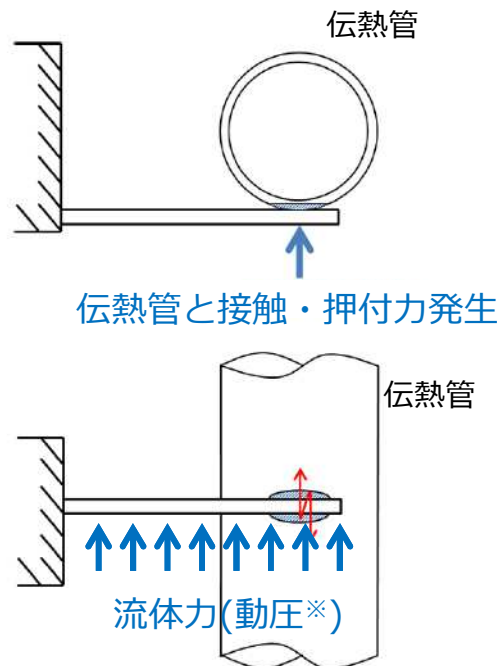
今回認められた減肉量を再現するには、1mWオーダーのワークレートが必要であることから、上記2つのケースについて検証する。

○異物振動のケース

- ・異物の端部が管支持板に挟まり拘束された状態を想定する。
- ・想定異物形状では流体力を受ける面積が小さいため、ワークレートは小さく、**有意な摩耗減肉が発生しないことを確認した。**



減肉メカニズム概要



計算モデル (片持ち梁)

* 3次元熱流動解析により算出

<片持ち梁の場合のワークレート計算式>

$$W_R = F \times 2L / \zeta \times f$$

W_R : ワークレート[W]

F : 押付力[N]

L : 静的振幅[m]

ζ : 接触物の減衰比[%]

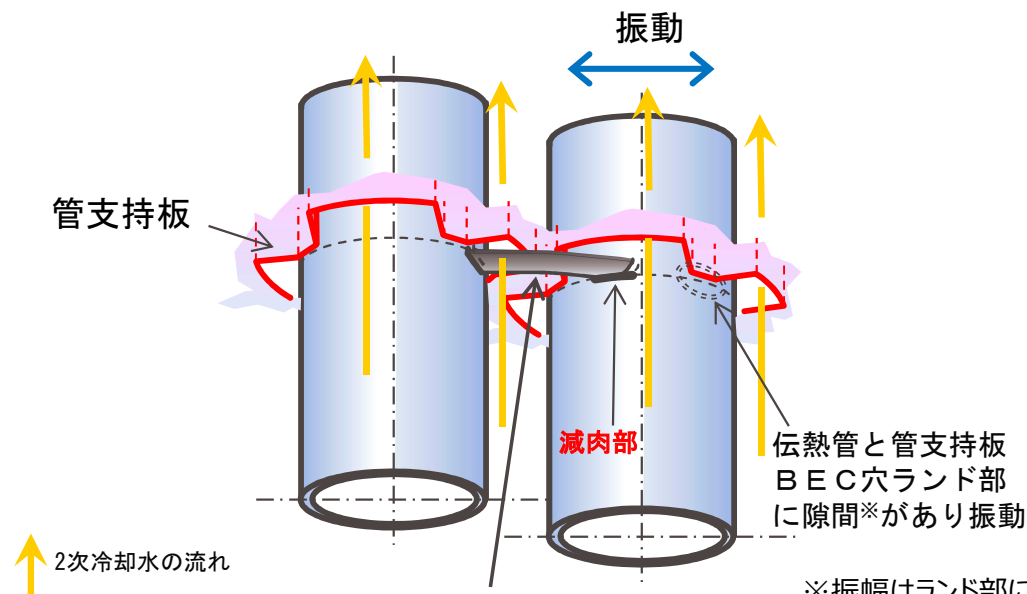
f : 固有振動数[Hz]

ワークレート試算結果

押付力 (N)	ワークレート (mW)	実機減肉量再現可能性
約1	< 0.01	×

○伝熱管振動のケース

- ・ 2次冷却水の流れによる伝熱管のランダム振動により伝熱管自身に摩耗減肉が発生したと想定する。
- ・ 流動振動解析によりワークレートを試算すると、**異物振動のケースに比べて十分大きなワークレートが得られることを確認した。**



ワークレート試算結果

押付力 (N)	ワークレート (mW)	実機減肉量再現可能性
約1	約3	○

異物 (想定)
上昇により押付、保持されている

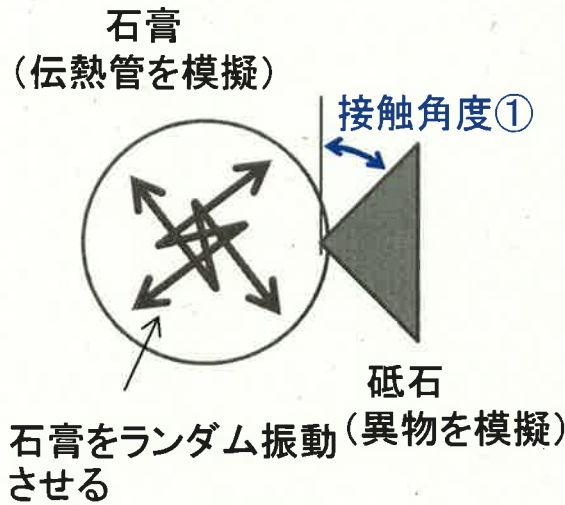
今回の摩耗減肉は、伝熱管振動によって生じたものと推定される。

3. 減肉メカニズム (④ - 1 減肉形状の推定 1 / 2)

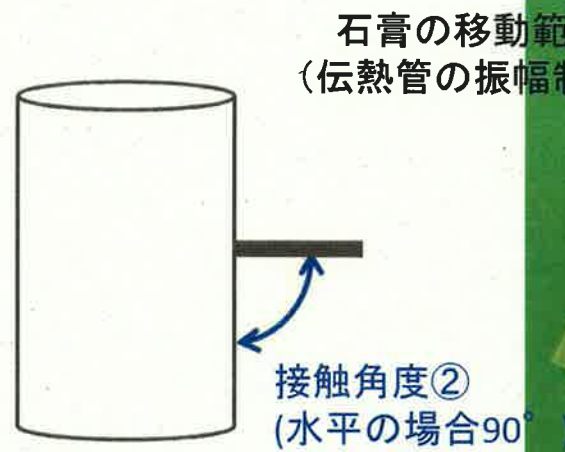
○今回の摩耗減肉がどのように発生したかを模擬減肉試験（加速試験）により、摩耗減肉形状を把握し、想定異物と伝熱管の接触状態を推定する。

<試験方法>

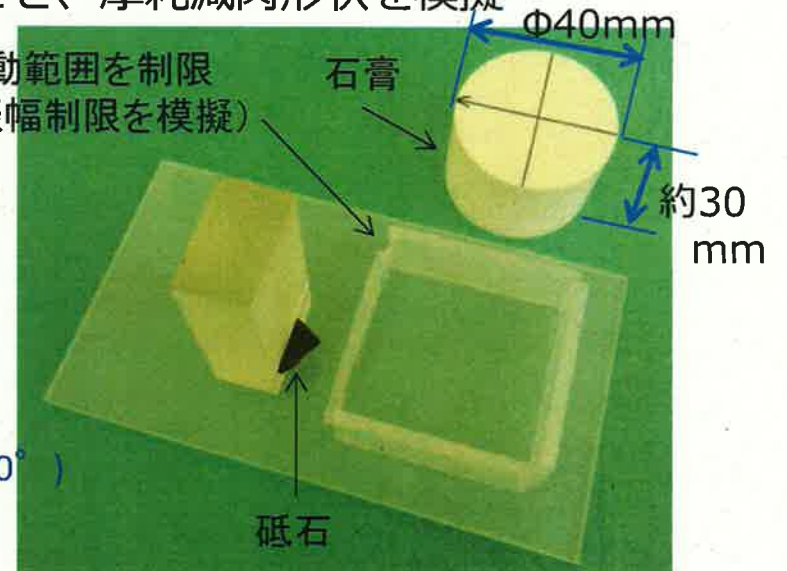
- ・伝熱管は石膏で、想定異物は砥石で模擬
- ・砥石に石膏を接触させ、石膏を振動させることにより摩耗減肉を模擬
- ・砥石の接触角度（①接線方向および②軸方向）を変化させ、摩耗減肉形状を模擬



平面図



側面図



装置概観(実機2倍スケールで模擬)

<試験条件>







対象伝熱管	振動モード	接触角度①	接触角度②	振動振幅(2倍スケール)
A-SG:X85, Y2	伝熱管振動	0°,15°,30°,45°	90°	<input type="text"/>
B-SG:X92, Y8			30°	
C-SG:X45, Y5			90°	
C-SG:X91, Y4			60°	
C-SG:X52, Y9			90°	

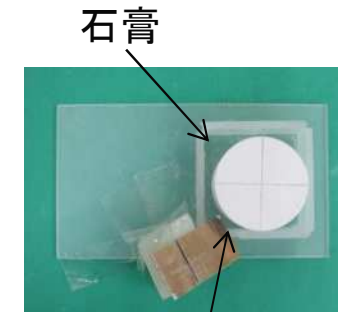
: 枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することができません。

○模擬減肉試験 (前頁の続き)

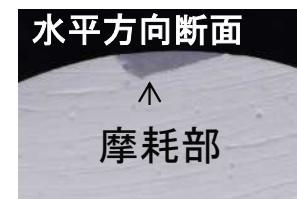
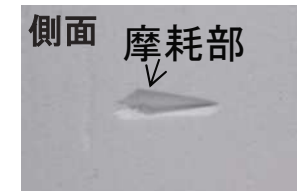
・接線角度を変化させることで以下の摩耗減肉形状が得られることを確認した。

- 接触角度① 0° : 蒲鉾型の形状
- 接触角度① 15°, 30°, 45° : 三角型の形状
- 接触角度② 90° : 矩形のスリット形状
- 接触角度② 60°, 30° : 三角形に近い形状

接触角度		減肉形状イメージ	
接触角度①	0°	蒲鉾型	
	15°	三角型 (非対称)	
	30°	三角型 (非対称)	
	45°	三角型 (対称)	
接触角度②	90°	矩形のスリット状	
	60°	三角形に近い形状	
	30°	三角形に近い形状	



砥石
(接触角度①: 15°)
試験状況(上から)



水平方向断面 : 三角型
軸方向断面 : 三角形に近い形状
(接触角① 15° ② 60° の例)

3. 減肉メカニズム (④-2 ECTモックアップ試験)

○模擬減肉試験結果と同等の人工欠陥を与えた伝熱管のECT信号を取得し、実機ECT信号との比較を行う。

<試験条件>

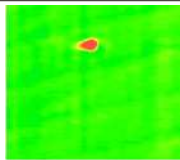
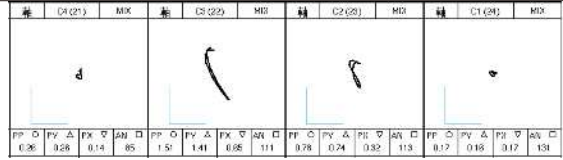

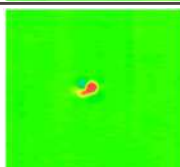
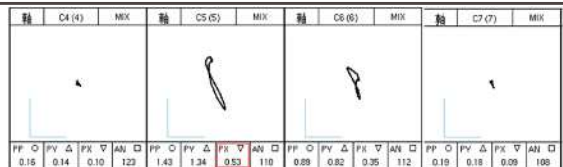
- ・人工欠陥寸法の幅および長さ：減肉試験で得られた寸法
- ・人工欠陥寸法の深さ：実機のECT信号

試験結果 (例)

再現対象 伝熱管	深さ	断面形状		開口寸法		試験結果
		水平方向断面 (接触角度①)	軸方向断面 (接触角度②)	長さ	幅	
C-SG: X52, Y9 (深さ59%)	60%	蒲鉾型(0°)	スリット状(90°)	約8 mm	約0.3mm	× : 実機信号と不整合(電圧過大)
		三角型(15°)		約4 mm		○ : 実機信号と整合
		三角型(30°)		約2 mm		× : 実機信号と不整合(電圧過小)
		三角型(45°)		約2 mm		× : 実機信号と不整合(電圧過小)

※電圧過大：人工欠陥の大きさが実機欠陥よりも大きいと推定
電圧過小：人工欠陥の大きさが実機欠陥よりも小さいと推定

・実機ECT信号との比較結果

	MIX 色調図	MIX リサージュ	実機信号 整合性
実機 C X52Y9 周長(目視)：約8 mm	振幅： 1.51V 位相：111° 		○
モックアップ 三角型 (接触角度①15°) 	振幅： 1.43 V 位相：110° 		

○モックアップによるECT信号を取得した結果、三角型の人工欠陥から得られたECT信号が実機のECT信号とよく一致することを確認

異物は角部で伝熱管に接触したものと推定

3. 減肉メカニズム (⑤摩耗体積の評価)

- 流動振動解析により得られたワークレートから算出した1サイクルで発生する摩耗体積と、実機 ECT 結果との整合が確認されたモックアップ伝熱管の摩耗体積を比較した。
- その結果、解析による摩耗体積とモックアップ伝熱管の摩耗体積が、整合することを確認した。

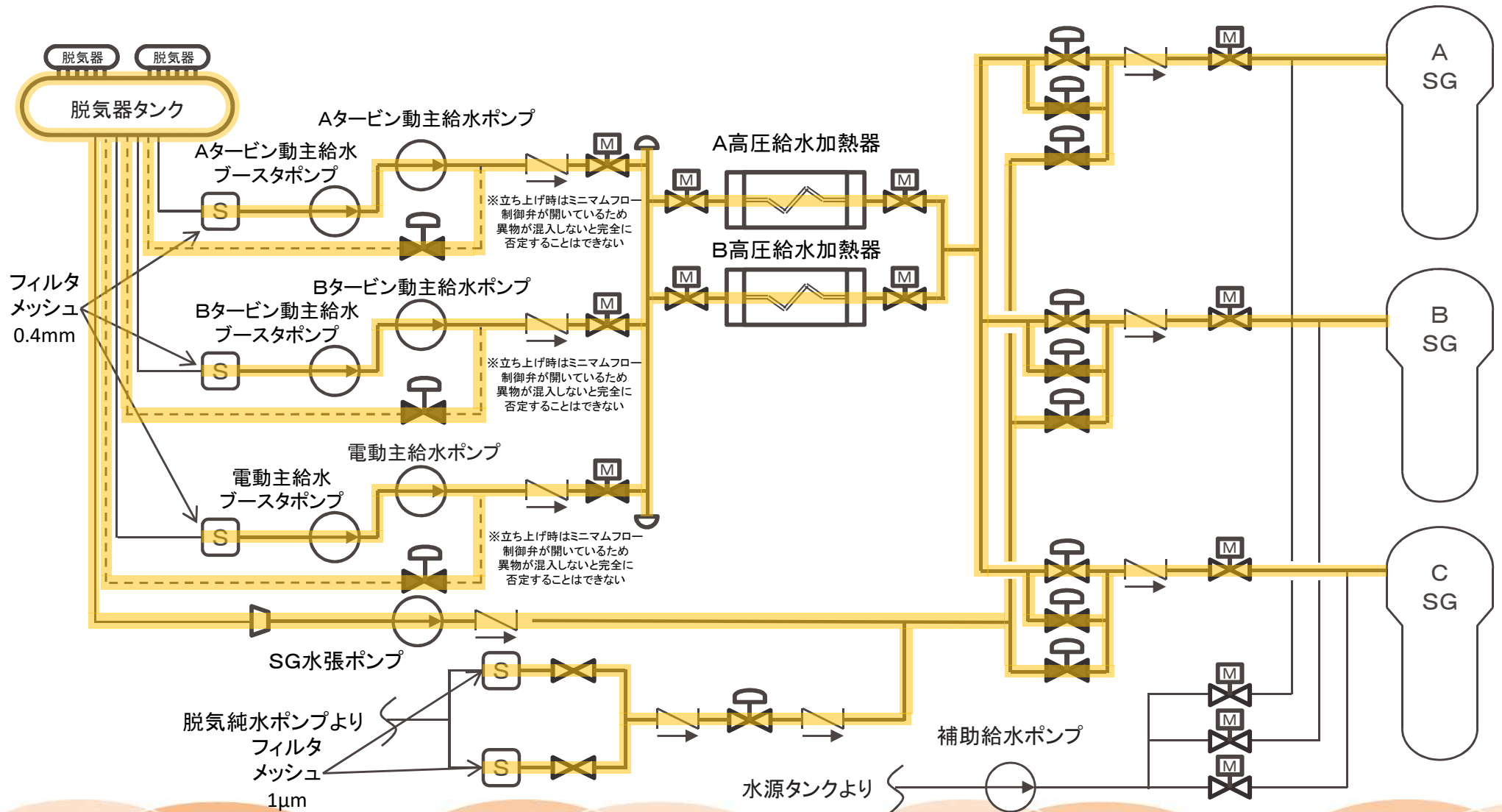
算出結果


対象伝熱管 (ECT深さ)	形状・体積評価手法	減肉形状			摩耗体積 (ワークレート)
		深さ	幅	長さ	
A-SG: X85, Y2 (深さ61%)	目視	—	1mm以下	約6mm	—
	ECTモックアップ	60%	約0.3mm	約4mm	約0.6mm ³
	流動振動解析	—	—	—	約0.8mm ³ (約4mW)
B-SG: X92, Y8 (深さ51%)	目視	—	約1mm	約5mm	—
	ECTモックアップ	50%	約1.3mm	約4mm	約0.8mm ³
	流動振動解析	—	—	—	約1.2mm ³ (約6mW)
C-SG: X45, Y5 (深さ63%)	目視	—	1mm以下	約4mm	—
	ECTモックアップ	60%	約0.3mm	約4mm	約0.6mm ³
	流動振動解析	—	—	—	約0.7mm ³ (約3mW)
C-SG: X52, Y9 (深さ59%)	目視	—	1mm以下	約8mm	—
	ECTモックアップ	60%	約0.3mm	約4mm	約0.6mm ³
	流動振動解析	—	—	—	約0.6mm ³ (約3mW)
C-SG: X91, Y4 (深さ42%)	目視	—	2mm以下	約5mm	—
	ECTモックアップ	40%	約0.6mm	約3mm	約0.3mm ³
	流動振動解析	—	—	—	約0.6mm ³ (約3mW)

以上の結果から、推定した形状の異物により、伝熱管に摩耗減肉が発生する可能性があることを確認した。

4. 異物流入に関する調査 (異物流入経路)

- 想定異物形状および通常運転中の流速を勘案し、想定される異物が系統水の流れてに乗って移動する可能性がある範囲*を調査した。
- 範囲は以下のとおり。(主給水系統およびS G水張系統)



※  『流れによって発生する流体抗力 > 異物自体の自重により発生する落下力』となり、想定異物が流れに乗って移動する可能性がある範囲

4. 異物流入に関する調査（2次系機器内部構成品の脱落）

- 2次系機器の内部構成部品が脱落し、異物となってS Gへ流入する可能性について検討した。
- 異物流入経路の系統範囲にある機器の内部構成品であって、想定される異物と類似形状を持つ構成品はなかったことから、**機器内部構成品が脱落して異物となった可能性はない**と考えられる。

NO	機器名称	類似形状の有無	評 価
1	主給水ブースタポンプ	無	ステンレス製の薄板(1mm未満)のワッシャを使用しているが円形であり、想定形状と異なる。 ×
2	タービン動主給水ポンプ	無	ステンレス製の薄板(1mm未満)のワッシャを使用しているが円形であり、想定形状と異なる。 ×
3	電動主給水ポンプ	無	ステンレス製の薄板(1mm未満)のワッシャを使用しているが円形であり、想定形状と異なる。 ×
4	S G水張ポンプ	無	薄板状(1mm未満)の部品はない。 ×
5	主給水ブースタポンプ入口ストレーナ	無	ステンレス製のストレーナを使用しているが外観目視点検の結果損傷は認められない。 ×
6	脱気器タンク	無	薄板状(1mm未満)の部品はない。 ×
7	高圧給水加熱器	無	薄板状(1mm未満)の部品はない。 ×
8	弁	無	薄板状(1mm未満)の部品はない。 ×
9	配管	—	薄板状(1mm未満)の部品はない。 ×
10	弁、配管等に使用しているガスケットパッキン(消耗品)	無	ステンレス製の金属フープ(0.2mm)はあるが、想定より薄肉であること、また、破損した場合、系統外に漏えいが生じると考えられるが、漏えいがないことから該当しない。 ×

（1）異物混入の可能性のある作業の調査

- 外部から流入した異物が摩耗減肉の原因である場合、異物混入の可能性のある作業は、前回定期検査時（第21回）に、異物流入経路の系統範囲内の機器で開放点検等を実施した作業である可能性が高い※ことから、作業実績から該当する作業を抽出した。

※ 前回定期検査では、ECTの結果、伝熱管の外面減肉は確認されていないため。

- 抽出した全作業について、異物管理状況として、開口部養生状況、連続監視状況、服装管理状況および最終異物確認状況について確認した。
- その結果、すべての作業において開口部養生、連続監視および服装管理は適切に実施されていたものの、12件の作業において、最終異物確認時に目視確認が不可能となる範囲が存在し、**異物が混入する可能性が完全には否定できない以下の作業がある**ことがわかった。

- 弁分解点検作業（9件）**
- ストレーナ開放点検作業（2件）**
- 脱気器タンク開放点検作業（1件）**

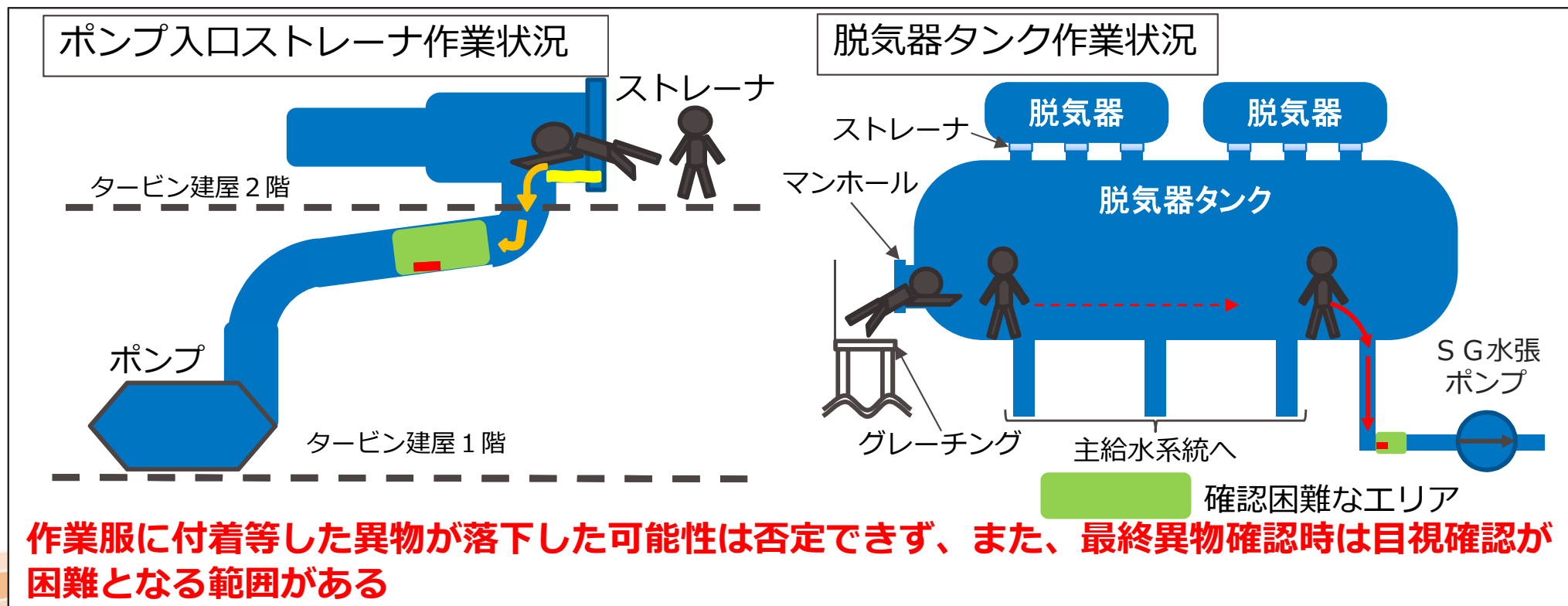
異物管理状況の確認結果の例（脱気器タンク）

機器名称	サイズ (mm)	開口 方向 (上、横)	人の 立ち入り 有無	異物管理 (○：可能性なし △：否定できない)				評 価	判 定 △：否定できない ○：可能性なし
				開口部 養生	連続監視 (封印)	服装管理	最終 異物確認		
脱気器タンク	φ500 (マンホール)	横	有	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△

（1）異物混入の可能性のある作業の調査（つづき）







例）ストレーナ開放点検作業、脱気器タンク開放点検作業

- ・ 機器内部へ入る際の服装等の確認を、作業員本人が実施しているが、本人では見えない箇所に異物が付着し、器内の養生作業時に異物が混入した可能性は否定できない。
- ・ 機器の出口が垂直管であることから、異物混入後、落下するため、最終異物確認時点では目視確認が困難な範囲となり、異物が確認できず混入した可能性は否定できない。



(2) 異物として推定される資材等

○発電所の作業において、想定異物と類似する異物が発生する可能性の有無を確認した。その結果、以下のような資材の切れ端等が発生し、想定異物やA-SGで発見された金属片と類似した形状となることは否定できないことを確認した。

資材等	現場における作業状況
<p>保温材外装板の切れ端</p> 	<p>配管や機器に取り付ける保温材は、ステンレスやアルミの外装板で覆われている。配管や機器サポートの近傍においては、外装板形状やサイズの調整を行う。</p> 
<p>配管識別表示等のバンドの切れ端</p> 	<p>配管識別表示等の現場表示には、金属製のバンドで配管等に固定されているものがある。このバンドには、ステンレスの薄板が用いられている場合があり、取付け時には、必要に応じ、バンド長さを調整する。</p> 
<p>配管の切削くず</p> 	<p>配管の取替えにおいては、既設配管の切断を行う必要がある。現地合わせの溶接部においては、開先加工を行う。</p> 

（2）異物として推定される資材等（つづき）

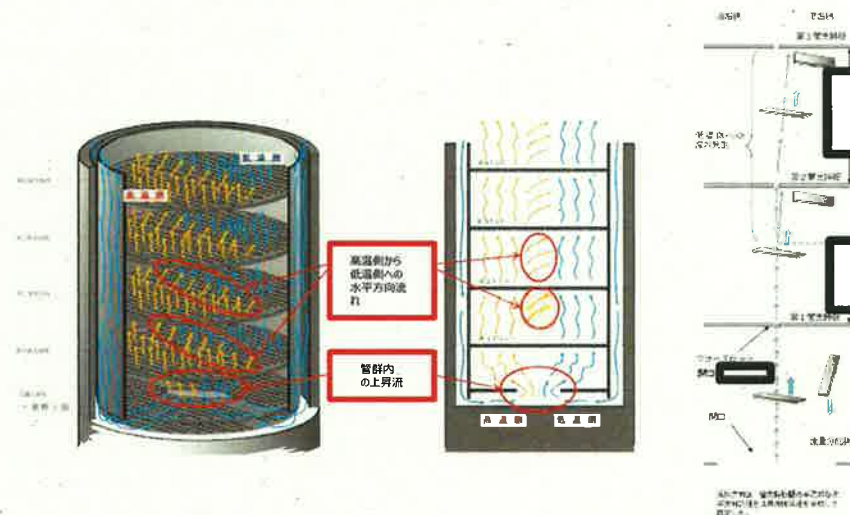
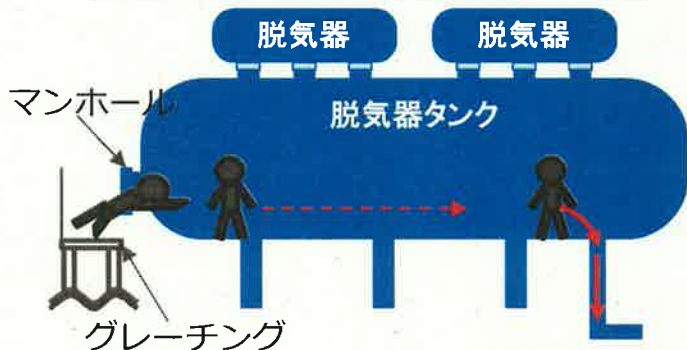
- 異物が混入する可能性が否定できない作業（12件）について、**開放点検等の開口部のある期間中の周辺作業実績**を確認した結果、**資材の切れ端等が生じる作業が3件実施されていたことがわかった。**
- 一方、**これらの作業以外であっても**、発電所の作業において発生した資材の切れ端等が作業服、靴の裏やウエスに付着して、開放点検等を実施した作業の**近辺に持ち込まれ、異物となった**ことも考えられる。
- 以上から、**開放点検等を実施した12件のいずれかの作業から異物が混入した可能性は否定できない。**

周辺作業の確認結果の例

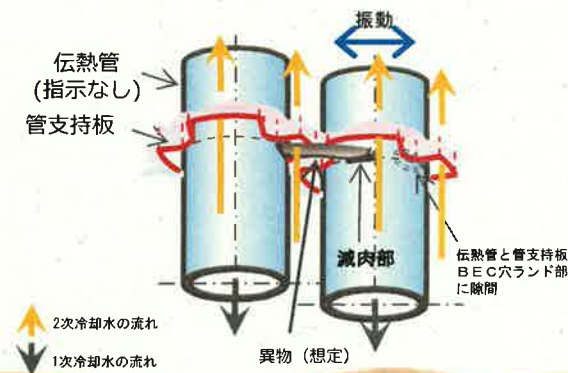
機器名称	作業内容	機器開放期間 (第21回定期 検査※)	当該作業で 発生する 可能性のある 異物	周辺作 業有無	周辺作業 内容	周辺作業で発生する 可能性のある異物
4Aタービン動主給水 ポンプミニマムフロー 制御弁後弁	弁分解点検 手入れ	6/19 ～6/25	なし	有	・2次系配管取替 (6/7～6/25)	配管取替えに伴い、保温材外装板の切れ端、配管の切削くずが発生している。
4B高圧給水加熱器入 口給水逃し弁	弁分解点検 手入れ	6/6 ～7/12	なし	有	・配管検査 (7/2) ・2次系配管取替 (6/15～21)	配管取替えに伴い、保温材外装板の切れ端、配管の切削くずおよび配管検査に伴い保温材外装板の切れ端が発生している。
脱気器タンク	タンク内清掃	6/5 ～7/14	なし	有	・2次系配管取替 (6/7～6/25) ・弁分解点検	配管取替えに伴い、保温材外装板の切れ端、配管の切削くずおよび弁分解点検作業に伴い保温材外装板の切れ端が発生している。

- ① 前回（第21回）定期検査時における機器の開放点検作業中に異物が混入した。
- ② 前回定期検査後の起動後、残留した異物は主給水系統を通じてSGに到達、SG内の上昇流に乗って第二、第三管支持板下面に到達し、伝熱管と接触した。

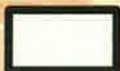
脱気器タンク開放点検作業の状況



- ③ 伝熱管と接触した異物は、運転中に生じる伝熱管の振動によって、伝熱管外表面を摩耗させ、伝熱管外面にきずをつけた。



減肉メカニズム概要



： 枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(1) 減肉伝熱管の施栓

摩耗減肉が認められたSG伝熱管について、高温側および低温側のSG管板部で施栓し、供用外とする。

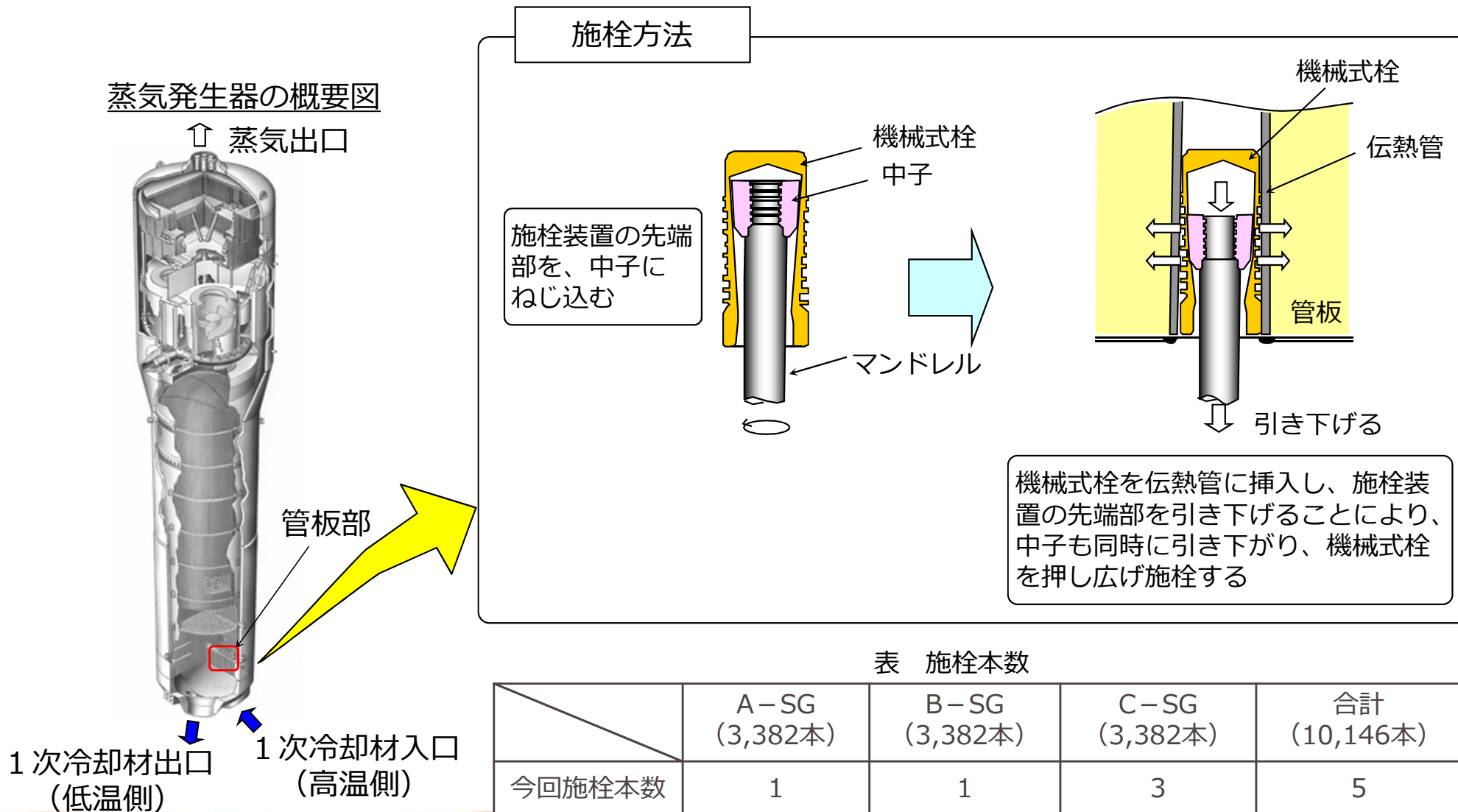


表 施栓本数

	A-SG (3,382本)	B-SG (3,382本)	C-SG (3,382本)	合計 (10,146本)
今回施栓本数	1	1	3	5
累積施栓本数 [施栓率]	138 [4.1%]	135 [4.0%]	126 [3.7%]	399 [3.9%]

(2) S G器内への異物流入防止対策

○**対策1**：S Gへの異物流入の可能性のある機器の点検における異物混入防止対策の徹底を図り、作業手順書等に追記する。

また、一作業一片づけを徹底し、異物の拡散を防止する。

対策イメージ

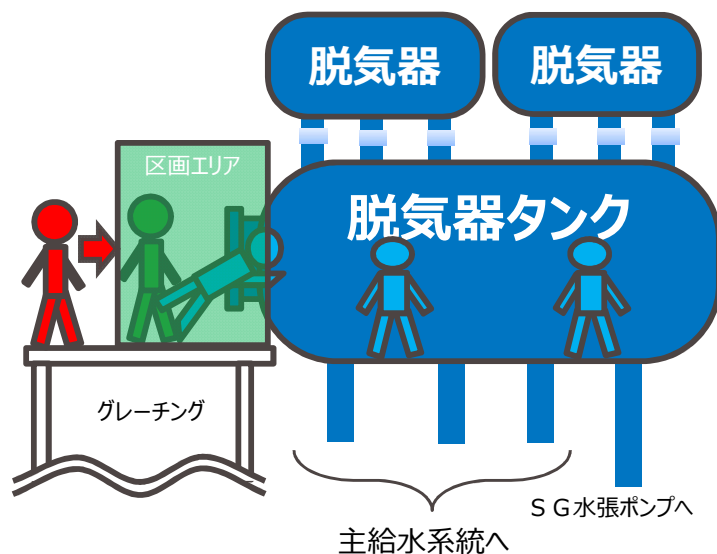
・作業員の立ち入る機器の点検

機器の開口部に周辺作業と隔離した区画エリアを設けることで、異物の混入防止を図る。



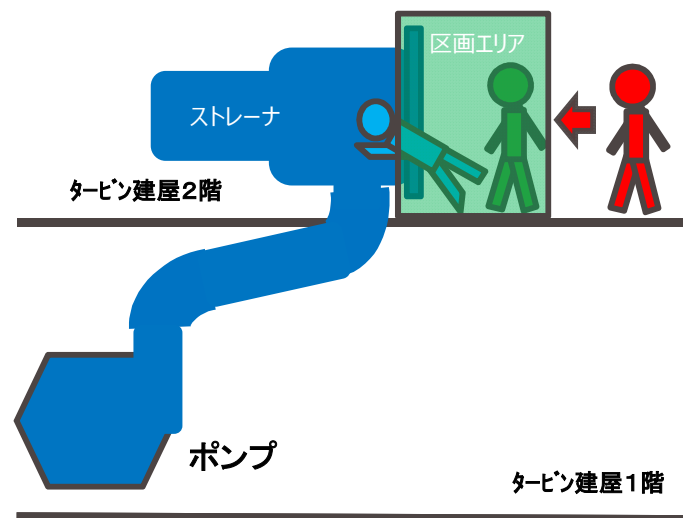
(脱気器タンクの例)

機器内部へ立ち入る直前に器内作業用の作業服に着替え、靴カバーを着用する。



(主給水ブースタポンプ入口ストレーナの例)

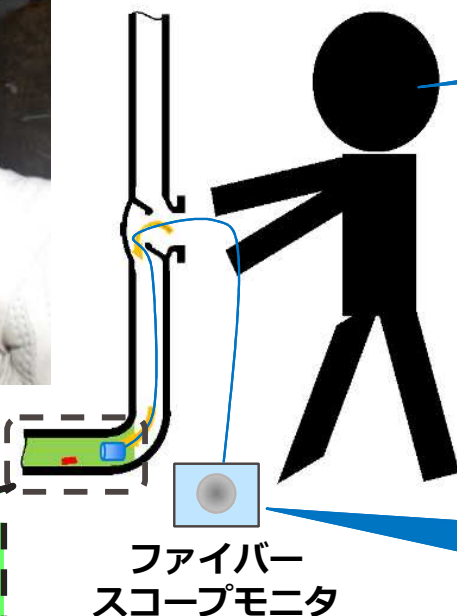
機器内部へ立ち入る直前に器内作業用の作業服に着替え、靴カバーを着用する。



○対策1 (つづき)

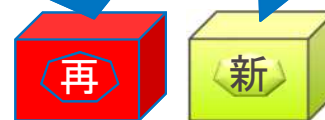
対策イメージ

・垂直配管に取り付けられている弁の点検



弁箱内部に使用する機材に異物の付着がないことを確実に確認する。

ウエス使用時は、新しいウエスに限るものとし、**新ウエス**は**再使用ウエス**と区別して管理する。



ウエス収納箱

直接目視確認
ができない範囲

最終異物確認時において直接目視にて異物の有無の確認ができない範囲については、ファイバースコープによる確認を行う。

○対策2：当該作業における異物混入防止対策が作業手順書通りに実施されていることを確認するため、現場パトロールの実施等による管理強化を図る。

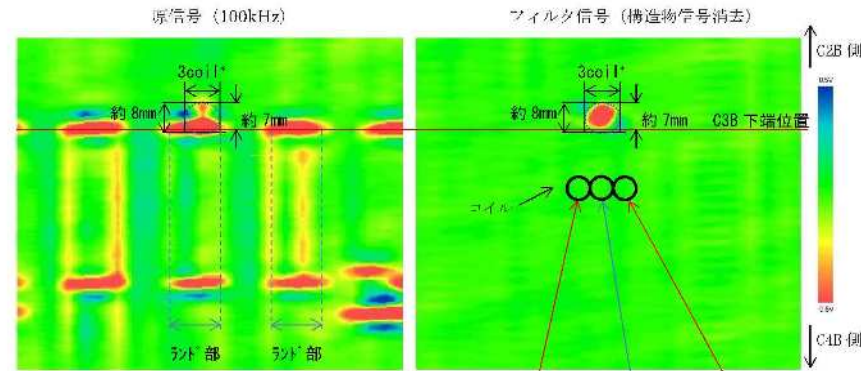
○対策3：S G器内の水張り、N₂噴射（バブリング）および水抜きを行った結果、スラッジ以外の異物は回収されなかったことから、今後の運転継続にあたり、器内に異物が残留していないことを最終確認した。

参考資料

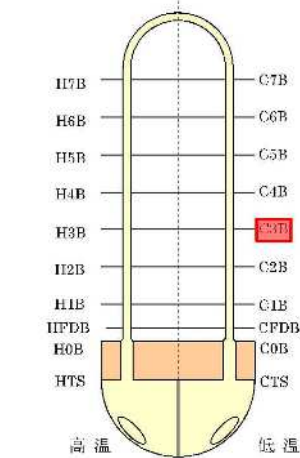


A-SG (X85, Y2) ECT結果

減肉率：約60%



*1coil: 約3mm ※内側から見たイメージ



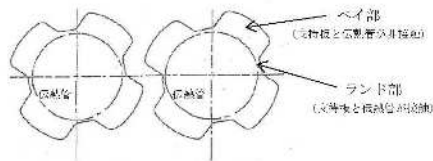
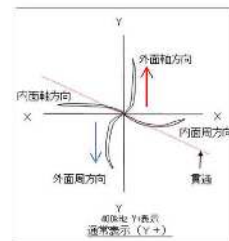
種	C3B	検	C3B	検	C3B	検	C3B	検	C3B	検
軸方向	↑		↑		↑		↑		↑	
周方向		↻		↻		↻		↻		↻
斜方向		↗		↗		↗		↗		↗

【A-SG X85-Y2】ガサージェ波形

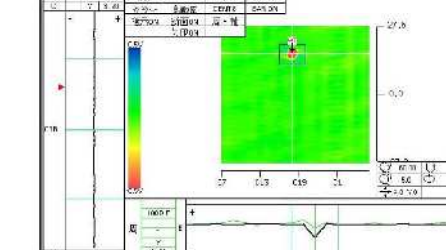
さず器部の軸方向成分(赤色部)を検出
きず中心部の周方向成分(青色部)を検出

波形評価

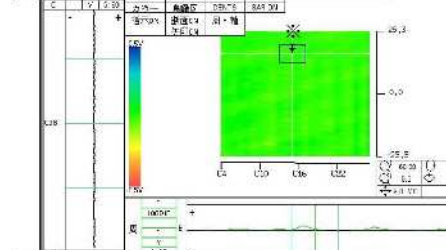
- ・全相角評価から、外面指すの特徴を捉えている。
- ・指示は複数のコイルで検出されており、指示の中心部のコイルは周方向成分、両端部のコイルでは軸方向成分の特徴を持っている。
- ・上記の通り軸方向成分及び周方向成分の両方の成分が検み取られるため、広がりを持つ減肉と評価する。(上図参照)



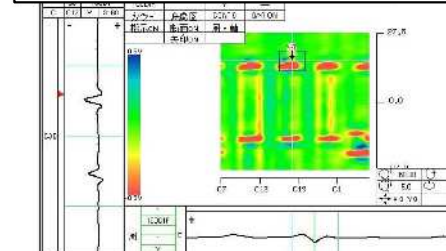
今回フィルタ信号 (構造物信号消去)



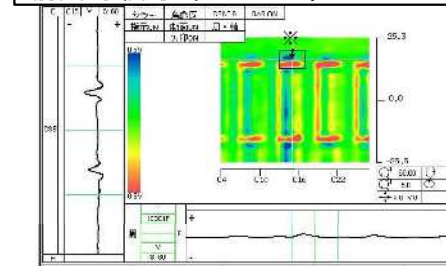
前回フィルタ信号 (構造物信号消去)



今回原信号 (100 kHz)



前回原信号 (100 kHz)



種	C3B	検	C3B	検	C3B	検	C3B	検	C3B	検
軸方向	↑		↑		↑		↑		↑	
周方向		↻		↻		↻		↻		↻
斜方向		↗		↗		↗		↗		↗

※特異な信号がないため任意の位置で表示。

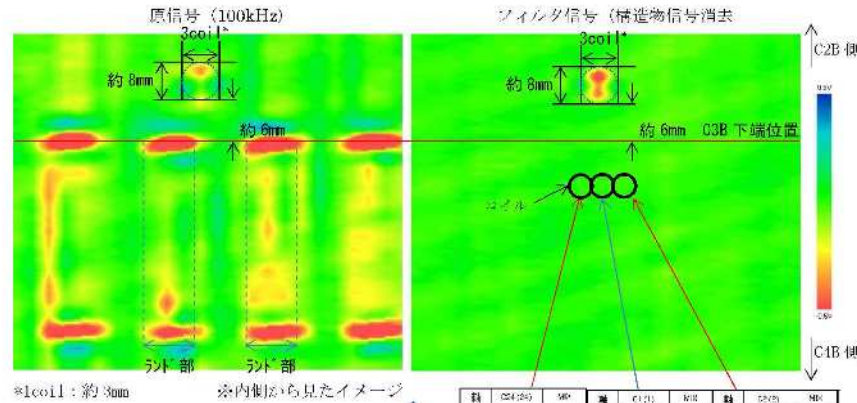
前今比較

信号評価

A-SG X85 Y 2 部位：C3B

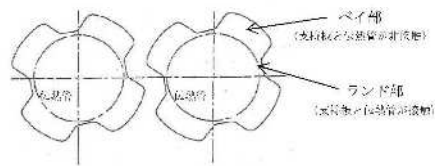
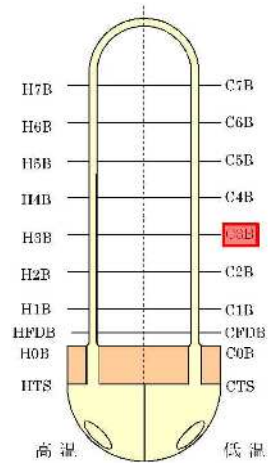
B-SG (X92, Y8) ECT結果

減肉率：約50%



※coil: 約3mm

※内側から見たイメージ



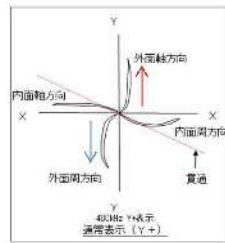
種	024 (20)	MR	種	C1 (1)	R10	種	C2 (2)	MR
軸方向	0.21	0.0	0.02	163	PP	0	PP	0
軸方向	0.28	0.24	0.23	105	PP	0	PP	0
軸方向	0.24	0.24	0.17	85	PP	0	PP	0

【B-SG X92-Y8 リサーチ波形】

きず部部の軸方向成分(赤色部)を検出
 きず中心部の周方向成分(青色部)を検出

波形認識

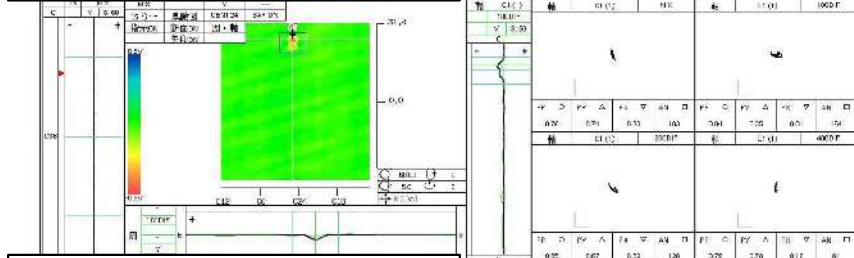
- ・位相角評価から、外周指示の特徴を持っている。
- ・指示は複数のコイルで検出されており、指示の中心部のコイルは同方向成分、両端部のコイルでは軸方向成分の特徴を持っている。
- ・上記の通り軸方向成分及び周方向成分の両方の成分が読み取れるため、広がりを持つ減肉と評価する。(下図参照)



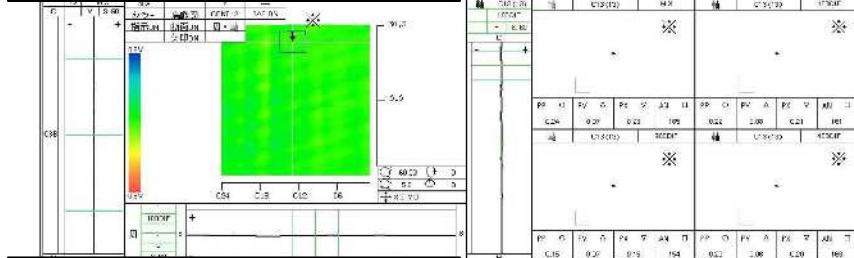
信号評価

B-SG X92 Y 8 部位：C3B

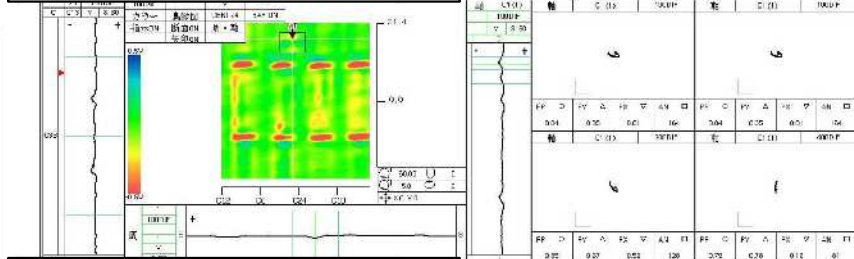
今回フィルタ信号 (構造物信号消去)



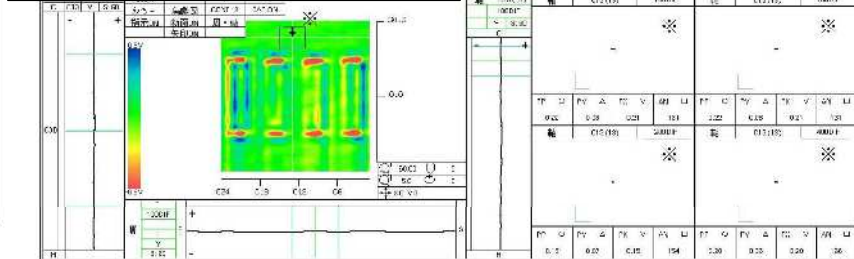
前回フィルタ信号 (構造物信号消去)



今回原信号 (100 kHz)



前回原信号 (100 kHz)

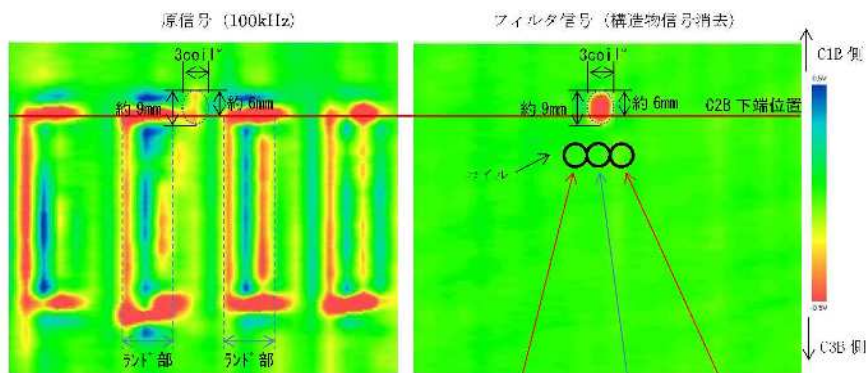


※特異な信号がないため任意の位置で表示。

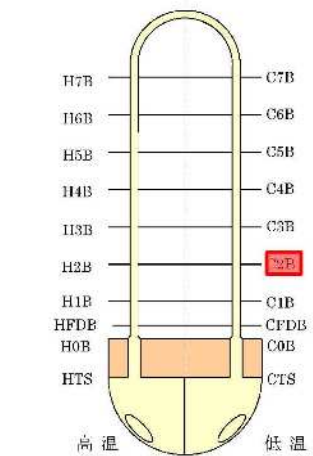
前今比較

C-SG (X45, Y5) ECT結果

減肉率：約60%



*Coil: 約3mm ※内側から見たイメージ



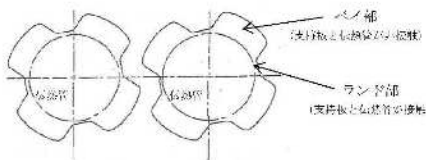
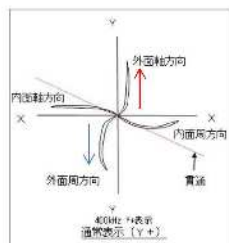
軸方向	周方向	径方向
↑	↻	↑

【C-SG X45-Y5】サーージュ波形成

※軸方向の径方向成分(赤色部)を検出
※径方向の周方向成分(青色部)を検出

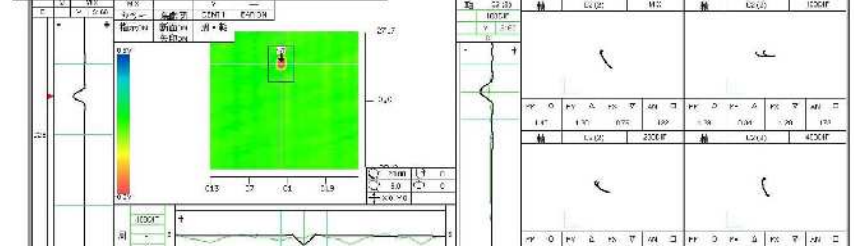
波形評価

- ・位相評価から、外面指向の特徴を持っている。
 - ・指示は複数のコイルで検出されており、指示の中心部はコイルは周方向成分、両端部は径方向成分の特徴を持っている。
- 上記の通り軸方向成分及び周方向成分の両方の成分が読み取れるため、広がりを持つ減肉と評価する。(下図参照)

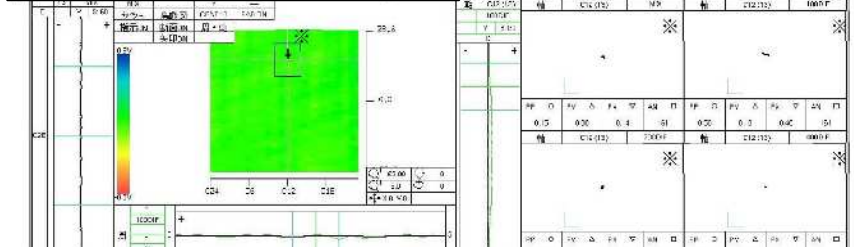


信号評価

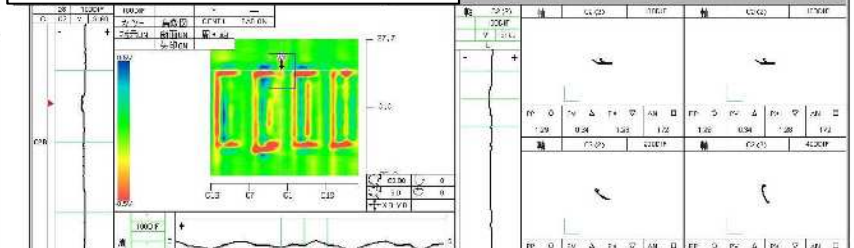
今回フィルタ信号 (構造物信号消去)



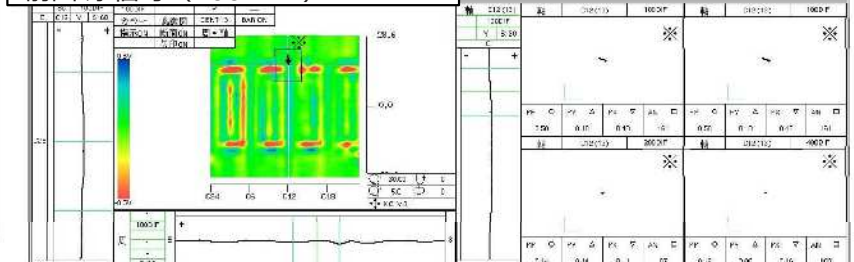
前回フィルタ信号 (構造物信号消去)



今回原信号 (100 kHz)



前回原信号 (100 kHz)

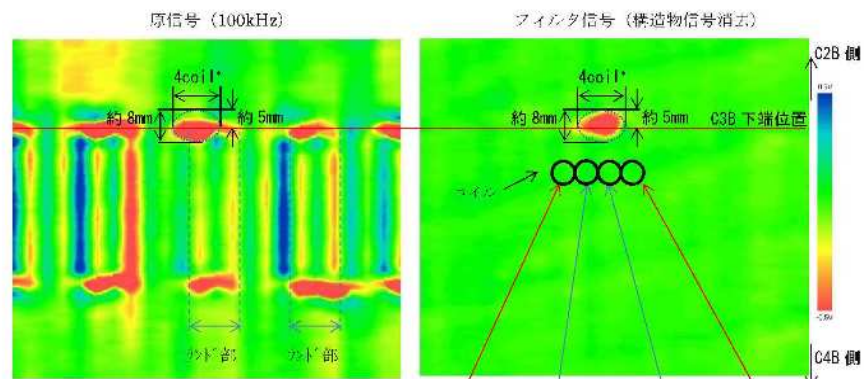


※特異な信号がないため任意の位置で表示。

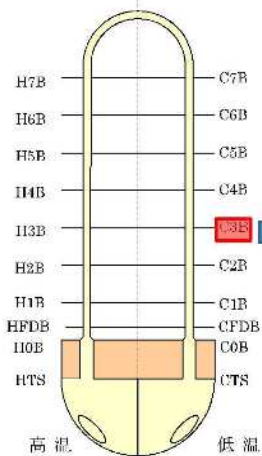
前今比較

C-SG (X52, Y9) ECT結果

減肉率：約60%



*1coil: 約3mm ※内側から見たイメージ



種	C1(2)	種	C2(2)	種	C3(2)	種	C4(2)	種	C5(2)	種	C6(2)	種	C7(2)	種	C8(2)
軸方向	↑	周方向	↻	周方向	↻	周方向	↻	周方向	↻	周方向	↻	周方向	↻	周方向	↻

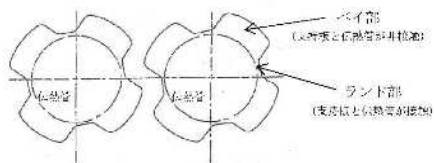
【C-SG X52-Y9 リザーブ波形】

※左端部の軸方向成分(赤色部)を抽出
※右端部の周方向成分(青色部)を抽出

波形評価

- ・位相角情報から、外面損傷の特徴を持っている。
- ・指示は複数のコイルで輸出されており、指示の中心部のコイルは同方向成分、両端部のコイルでは軸方向成分の特徴を持っている。
- ・上記の通り軸方向成分及び周方向成分の両方の成分が読み取れるため、広がりを持つ減肉と評価する。(上図参照)

※Z軸 Y軸表示
温度表示 (Y+)



今回フィルタ信号 (構造物信号消去)

前回フィルタ信号 (構造物信号消去)

今回原信号 (100 kHz)

前回原信号 (100 kHz)

※特異な信号がないため任意の位置で表示。

信号評価

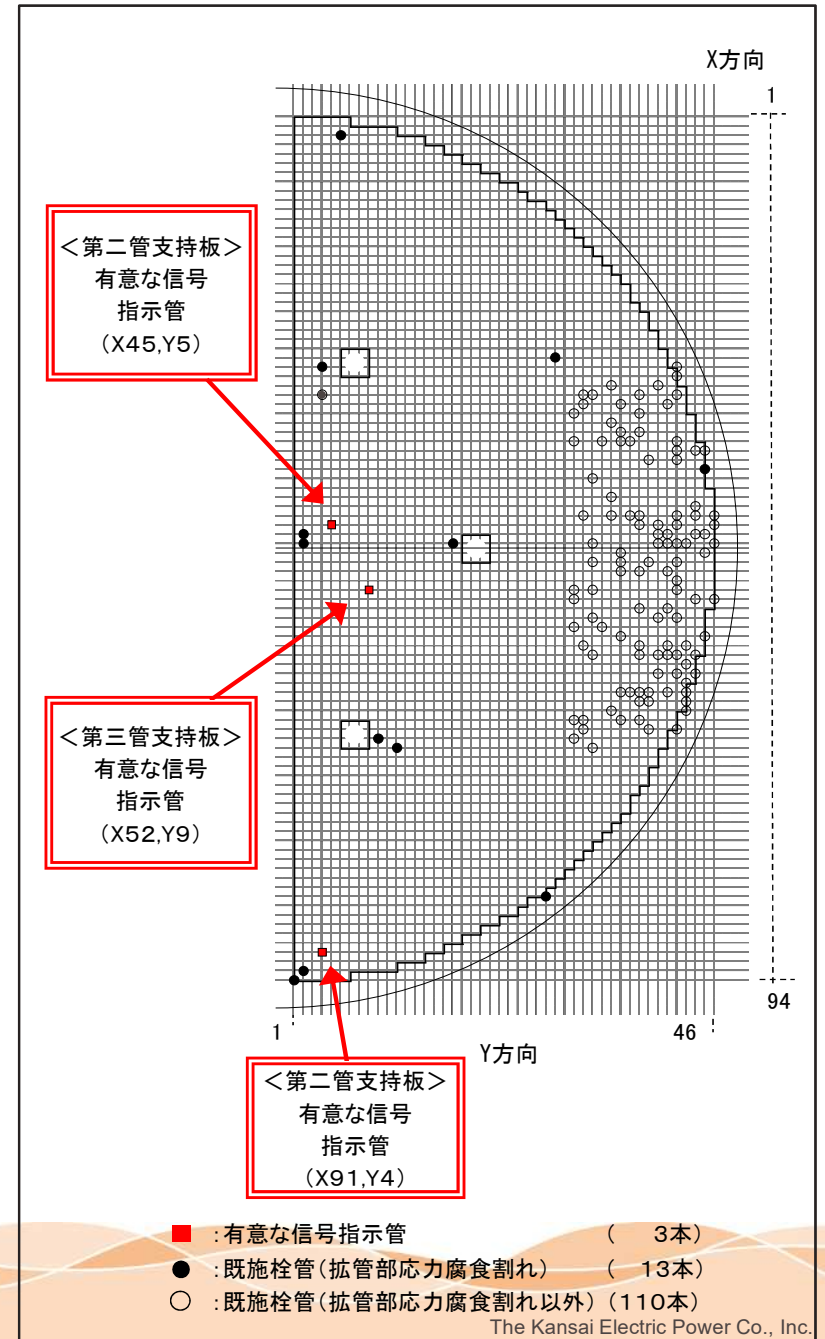
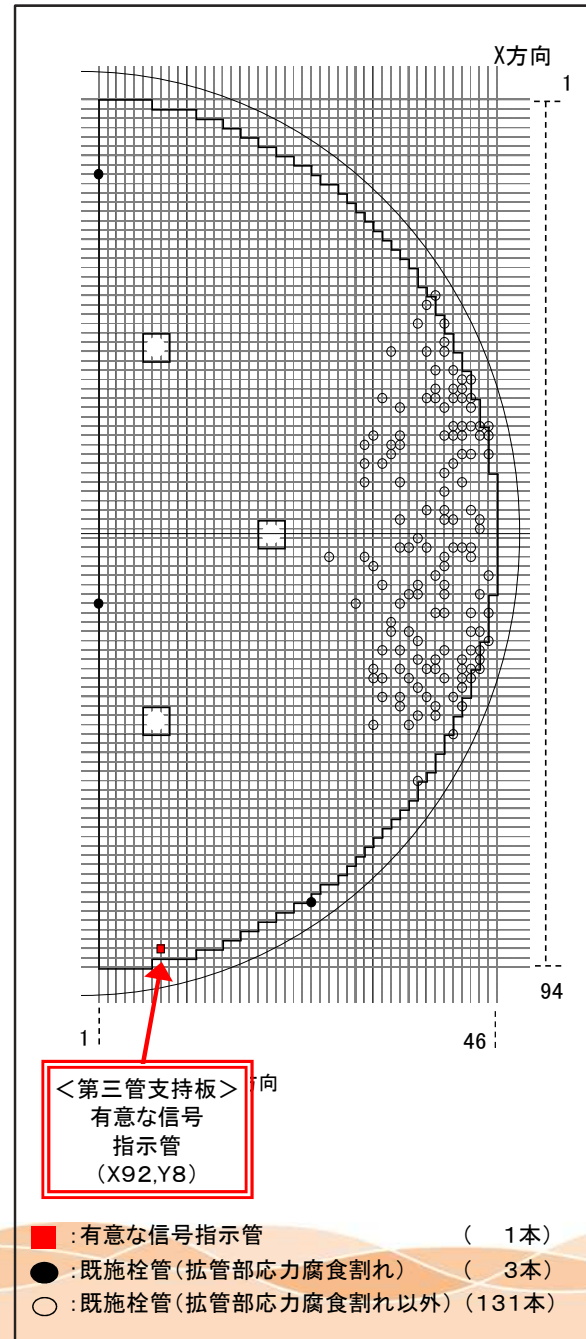
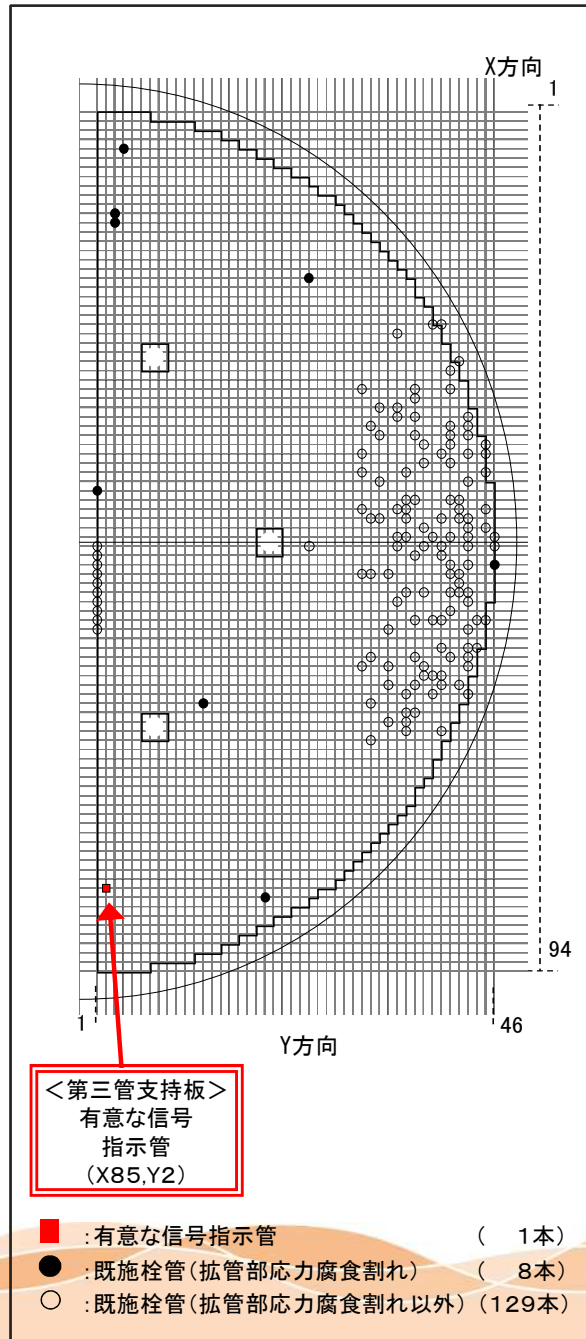
C-SG X52 Y 9 部位：C3B

前今比較

A - S G (低温側) の状況

B - S G (低温側) の状況

C - S G (低温側) の状況



要因		調査項目	評価		
減肉指示	1次側からの損傷	ECT信号	ECTの指示信号から損傷は、1次側からの損傷ではないと考えられる。 ×		
	粒界腐食割れ (IGA)	使用環境	過去にSG2次側環境においてアルカリ環境と酸化銅等による酸化性雰囲気を経験したプラントで、粒界腐食割れが発生した実績があるが、高浜発電所4号機のようなアンモニアとヒドラジンの注入により良好な還元性雰囲気が維持されているプラントでは発生していないことから、発生の可能性はないと考えられる。 ×		
		使用環境	過去にSG2次側環境において海水リーク等による塩化物環境と酸化銅等による酸化性雰囲気を経験したプラントで、ピittingが発生した実績があるが、高浜発電所4号機のような塩素濃度が十分低く管理され、且つ、アンモニアとヒドラジンの注入により良好な還元性雰囲気が維持されているプラントでは発生していないことから、発生の可能性はないと考えられる。 ×		
		使用環境	過去の2次系水処理において、リン酸を使用していたプラントでリン酸による減肉が発生した実績があるが、高浜発電所4号機のようなアンモニアとヒドラジンによるAVTを実施しているプラントでは発生していないことから、発生の可能性はないと考えられる。 ×		
	摩耗減肉	管支持板との接触	設計評価	管支持板との接触による摩耗減肉が顕在化する場合は4ヶ所の接触部(ランド部)に減肉が生じることになるが、ECT信号上は減肉は管支持板下端位置にしか発生していない、且つ、ランド部の位置に発生していないことから、前述の傾向とは異なり、減肉が管支持板との接触・摩耗によって発生した可能性はないと考えられる。 ×	
			SG器内発生物との接触	内部品が脱落して接触	設計評価
		SG器外流入物との接触	スラッジとの接触		設計評価
		SG器外流入物との接触	目視点検	A-SGで確認された金属片は減肉の直接の原因ではないと考えられるが、同様な異物がSG器外から流入した可能性が否定できない。今後、更なる異物調査として、SG器内に水を張り、底部からN2を噴射(バブリング)させたのち、水を抜くことによる異物の回収を試みた結果、スラッジ以外の異物については、確認されなかった。 △	
	SG器外流入物との接触	設計評価	減肉メカニズムについて検討した結果、推定した形状の異物は、SG器内へ流入後、各管支持板低温側下面へ移動するとともに伝熱管へ摩耗減肉を与え、プラント停止後にブローダウン管より流出した可能性があることを確認した。 △		
	2次側からの損傷	デンティング	ECT信号	ECTの信号指示からデンティングではないと考えられる。 ×	
流体振動による疲労		設計評価	管支持板部の流れによる伝熱管の管支持板部の応力は、疲労限に比べ非常に小さく、疲労損傷は発生しないと考えられる。 ×		
エロージョン		設計評価	当該部流速は約3m/sであり、かつ、TT600合金は耐エロージョン性が高く(室温条件では約70m/s以上がエロージョン発生領域)、エロージョンの発生はないと考えられる。 ×		
ECT探傷		損傷以外の信号	局所的な異物等の付着・剥離	ECT信号	異物等の付着による信号は、減肉信号と異なるが、今回の信号は減肉信号であるため、異物等の付着・剥離の可能性は低い。 ×

×: 要因の可能性なし、△: 要因の可能性あり。

- 金属片の分析

A-SGで発見された金属片についてX線回折等により材質を確認した結果、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304相当）が主体であった。また、金属片の表面観察の結果、延性破壊による金属光沢（摺動痕ではない）は確認されたが、伝熱管との接触に伴う摺動痕がないことを確認した。

半定量値（質量%比）											
Mg	Al	Si	S	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
※	※	2	※	※	※	2×10^1	1	6×10^1	1×10^1	※	2

※検出されたが、半定量値が1（質量%比）未満であることを示す。

断面観察結果



金属光沢

(左側面)

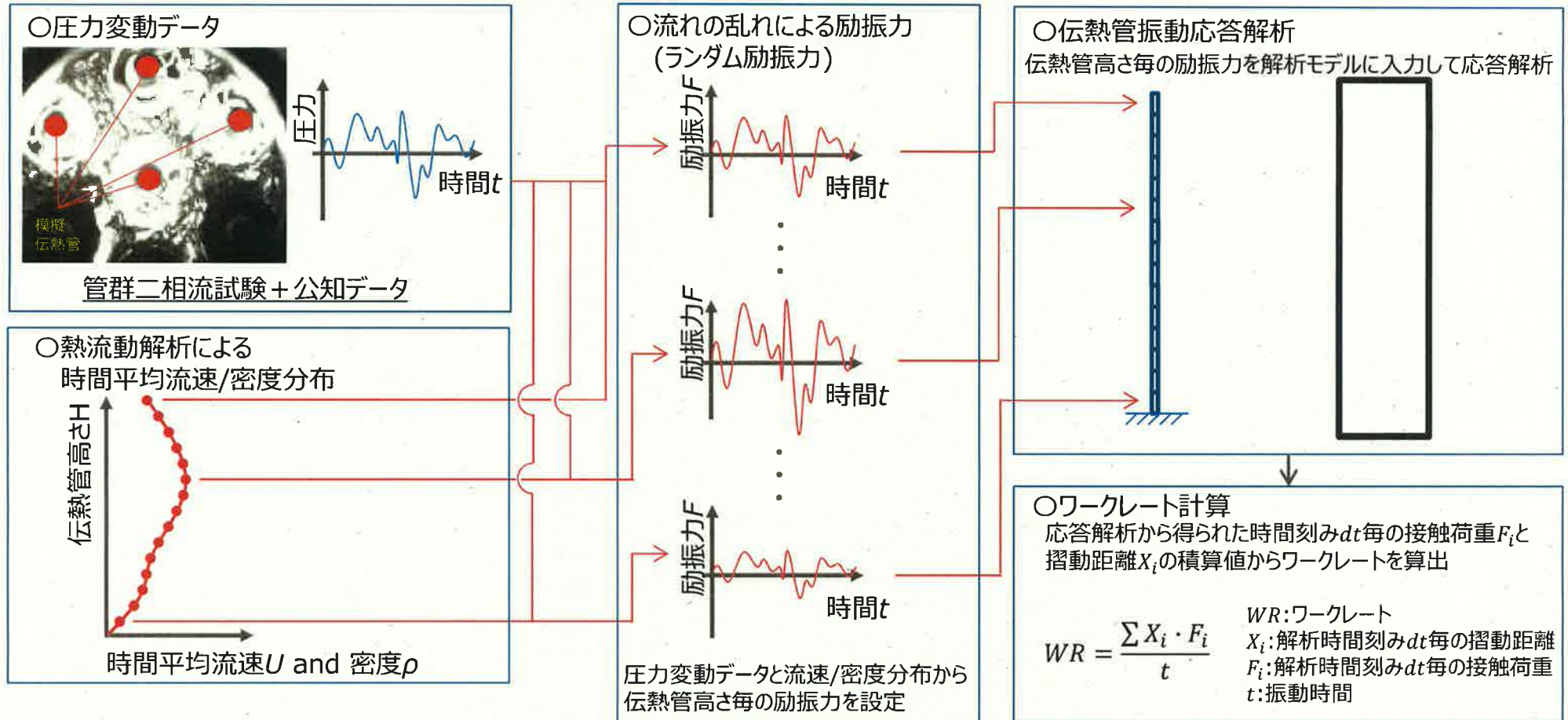
(凹面)

(右側面)

金属光沢

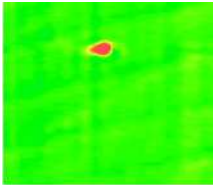
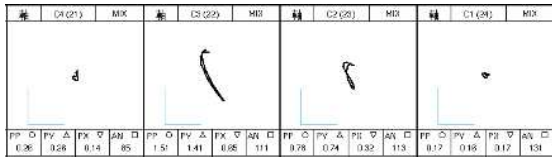

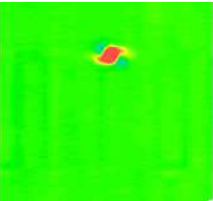
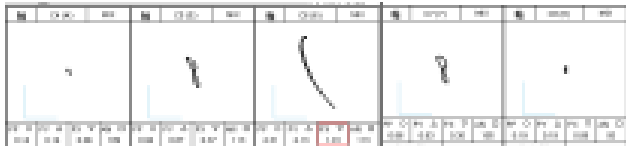

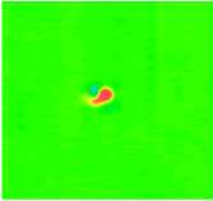
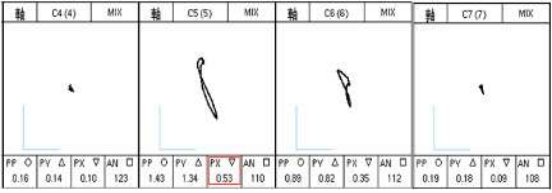

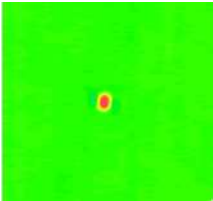
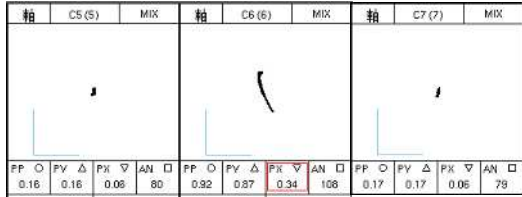
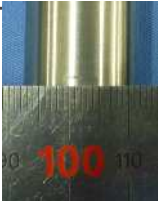
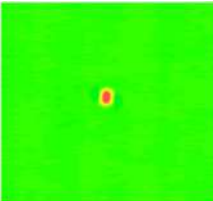
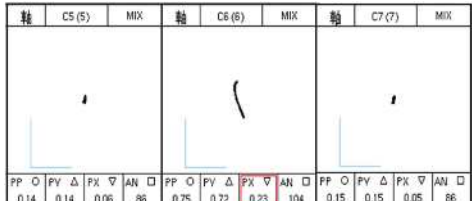
○流動振動解析によるワークレートの算出

流動振動解析によるワークレート算出の流れ



➤ 伝熱管振動のケースでは十分なワークレートが得られることを確認

○ ECTモックアップ試験
 実機ECT信号との比較結果の一例を以下に示す。

	MIX 色調図	MIX リサージュ	実機信号 整合性
実機 C X52,Y9 周長(目視)：約8mm	振幅：1.51V 位相：111° 		—
モックアップ 蒲鉾型 (接触角度①0°) 	振幅：2.31V 位相：113° 		×
モックアップ 三角型 (接触角度①15°) 	振幅：1.43V 位相：110° 		○
モックアップ 三角型 (接触角度①30°) 	振幅：0.92V 位相：108° 		×
モックアップ 三角型 (接触角度①45°) 	振幅：0.75V 位相：104° 		×

<試験条件>

・人工欠陥寸法の長さおよび幅は減肉試験で得られた寸法、深さは実機のECT信号から設定

試験結果

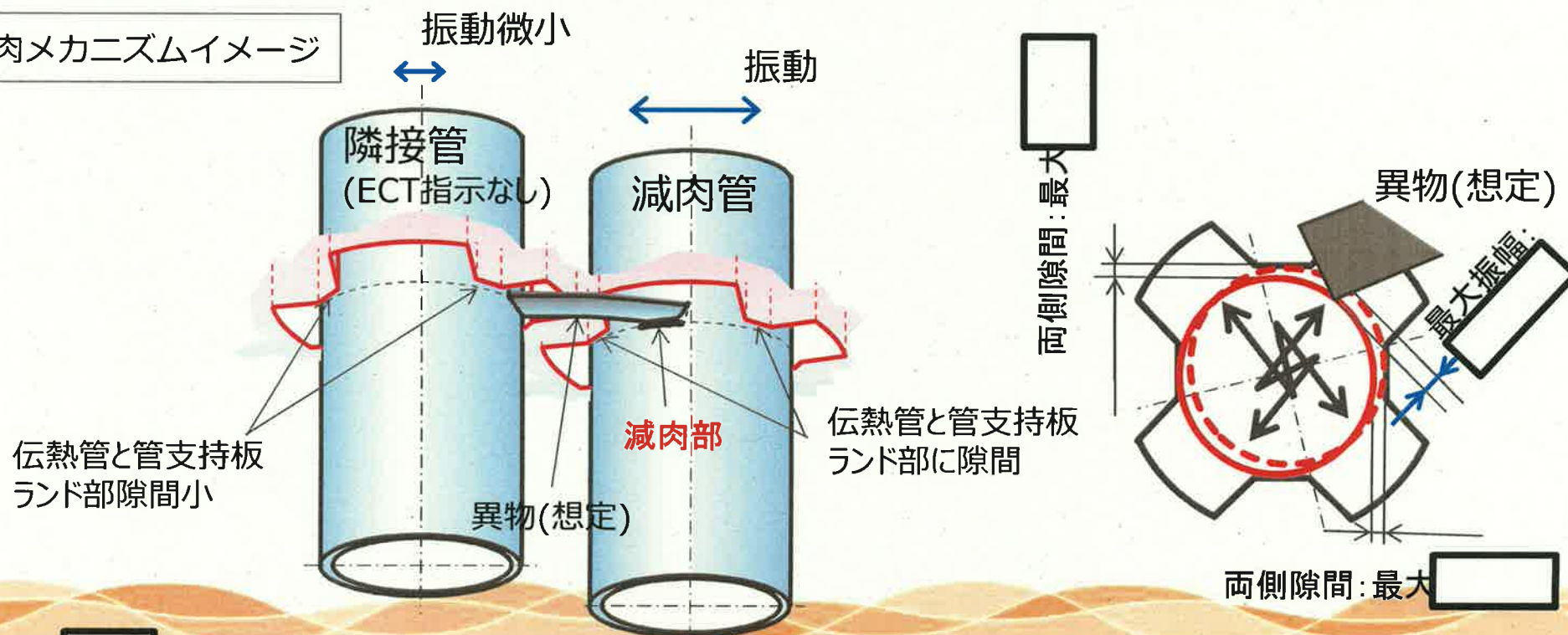
再現対象 伝熱管	深さ	断面形状		開口寸法		試験結果
		水平方向断面 (接触角度①)	軸方向断面 (接触角度②)	長さ	幅	
A-SG: X85, Y2 (深さ61%)	60%	蒲鉾型(0°)	スリット状(90°)	約8 mm	約0.3mm	×:実機信号と不整合(電圧過大)
		三角型(15°)		約4 mm		○:実機信号と整合
		三角型(30°)		約2 mm		△:実機信号とやや不整合
		三角型(45°)		約2 mm		×:実機信号と不整合(電圧過小)
B-SG: X92, Y8 (深さ51%)	50%	蒲鉾型(0°)	三角形に近い 形状(30°)	約8 mm	約1.3mm	×:実機信号と不整合(電圧過大)
		三角型(15°)		約4 mm		○:実機信号と整合
		三角型(30°)		約3 mm		△:実機信号とやや不整合
		三角型(45°)		約3 mm		△:実機信号とやや不整合
C-SG: X45, Y5 (深さ63%)	60%	蒲鉾型(0°)	スリット状(90°)	約8 mm	約0.3mm	×:実機信号と不整合(電圧過大)
		三角型(15°)		約4 mm		○:実機信号と整合
		三角型(30°)		約2 mm		△:実機信号とやや不整合
		三角型(45°)		約2 mm		×:実機信号と不整合(電圧過小)
C-SG: X91, Y4 (深さ42%)	40%	蒲鉾型(0°)	三角形に近い 形状(60°)	約7 mm	約0.6mm	△:実機信号とやや不整合
		三角型(15°)		約3 mm		○:実機信号と整合
		三角型(30°)		約2 mm		×:実機信号と不整合(電圧過小)
		三角型(45°)		約1 mm		×:実機信号と不整合(電圧過小)
C-SG: X52, Y9 (深さ59%)	60%	蒲鉾型(0°)	スリット状(90°)	約8 mm	約0.3mm	×:実機信号と不整合(電圧過大)
		三角型(15°)		約4 mm		○:実機信号と整合
		三角型(30°)		約2 mm		×:実機信号と不整合(電圧過小)
		三角型(45°)		約2 mm		×:実機信号と不整合(電圧過小)

※電圧過大：人工欠陥の大きさが実機欠陥よりも大きいと推定
電圧過小：人工欠陥の大きさが実機欠陥よりも小さいと推定

異物が管支持板の下面で拘束され、伝熱管が振動した場合の減肉量を検証した。

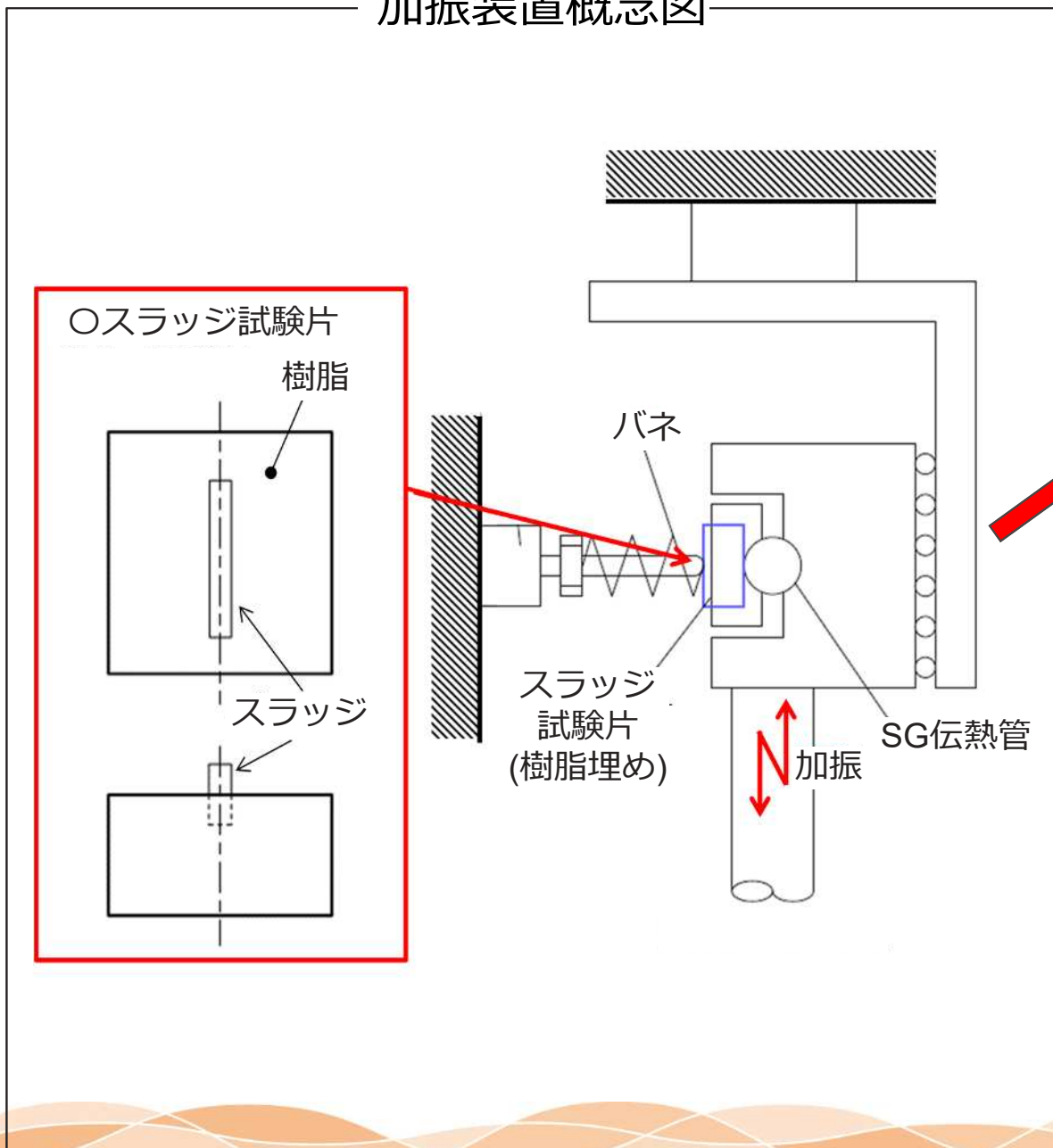
- 試算により、伝熱管振動により、有意なワークレートが発生することは確認済み。
- 当該管はB E C穴ランド部に隙間があることにより振動し、異物との接触部で減肉が発生。ただし、振幅はランド部により制限(最大振幅)されており、減肉深さには上限がある。
- 隣接管はランド部の隙間が小さく、異物の接触部に有意な減肉は発生せず。
- 減肉深さが最大の場合でも、次の通り耐震・強度上問題ないことを確認している。
 - ・直管部は工認で耐震評価の対象としているUバンド部に比べ地震荷重の影響が小さく、建設工認時のデータでは地震による応力は1/10以下である。
 - ・運転時および事故時の内外圧に対し、減肉深さ1.08mmまで耐えることを確認している。

減肉メカニズムイメージ

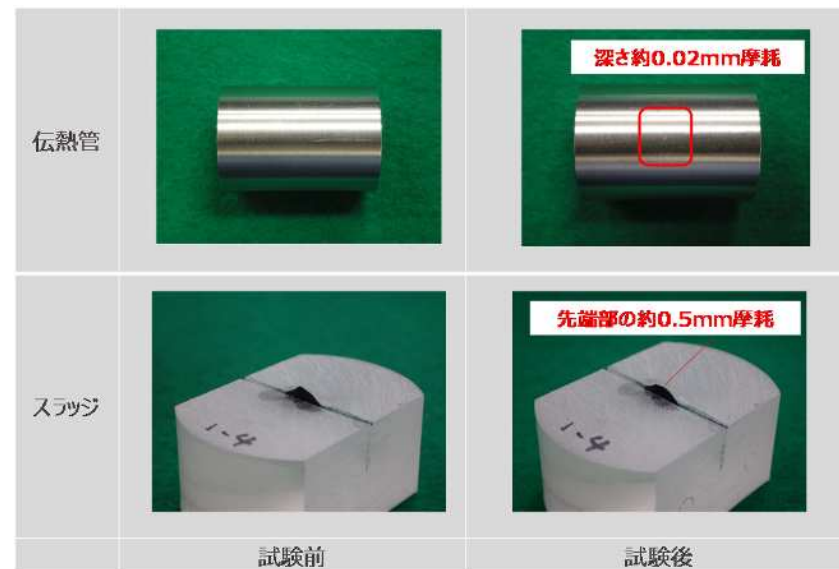
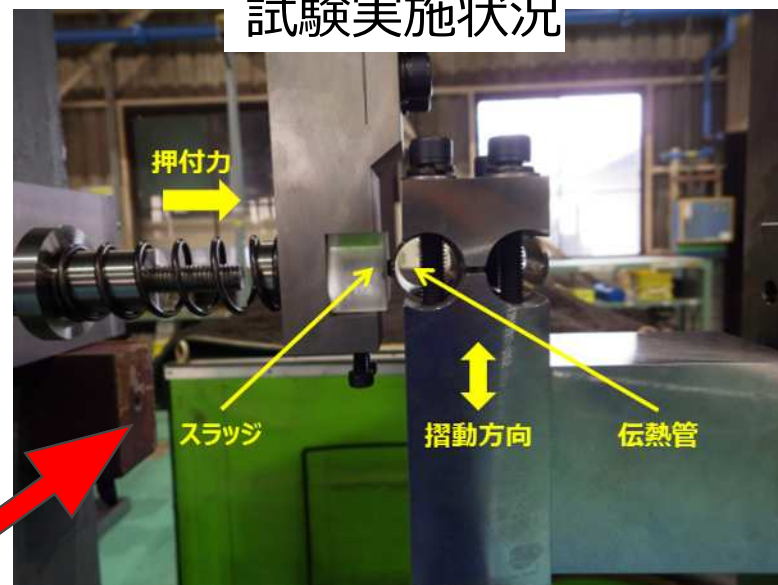


: 枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加振装置概念図

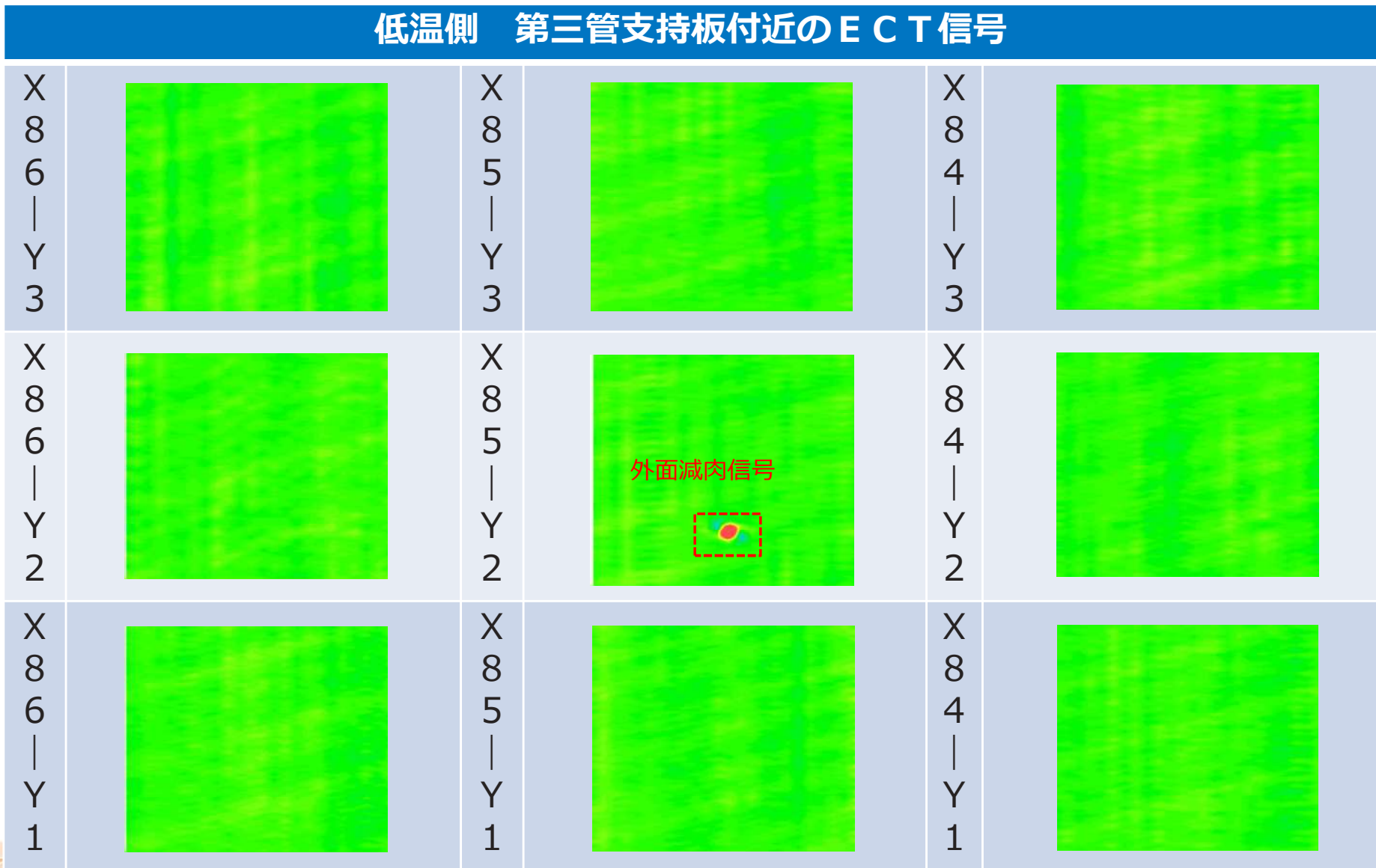


試験実施状況



1 Nの例

- SG器内において小型カメラを用いて伝熱管の外面観察を実施した際に確認された、摩耗痕に隣接した伝熱管の接触痕は、有意な減肉信号指示ではないことを確認した。



摩耗痕のある伝熱管と隣接した伝熱管のECT結果 (MIX : A - SGの例)

異物が混入する可能性が否定できない作業（12件）

機器名称	サイズ (mm)	開口 方向 (上、横)	人の 立ち入り有 無	異物管理 (○：可能性なし △：否定できない)				評 価	判 定 △：否定できない ○：可能性なし
				開口部 養生	連続 監視 (封印)	服装 管理	最終 異物 確認		
A-タービン動主給水ブースタポンプ入口ストレーナ	Φ883	横	有	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
B-タービン動主給水ブースタポンプ入口ストレーナ	Φ883	横	有	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-506A（4A主給水パイパス流量制御弁後弁）	Φ152 (6インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-506B（4B主給水パイパス流量制御弁後弁）	Φ152 (6インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-150A（4Aタービン動主給水ポンプミニマムフロー制御弁後弁）	Φ304 (12インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-012B（4B高压給水加熱器入口給水逃し弁）	Φ25 (1インチ)	上	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-162（電動主給水ポンプウォーミング弁）	Φ38 (1 1/2インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-013Ba（4B高压給水加熱器出口給水圧力計元弁（PI-5250B））	Φ12.7 (1/2インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-578A（4A主給水隔離弁バランス弁）	Φ12.7 (1/2インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-578B（4B主給水隔離弁バランス弁）	Φ12.7 (1/2インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
4VA-FW-578C（4C主給水隔離弁バランス弁）	Φ12.7 (1/2インチ)	横	無	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△
脱気器タンク	Φ500 (マンホール)	横	有	○	○	○	△	開口部養生から最終異物確認まで適宜実施されているが、最終確認時垂直管部で目視確認が困難な範囲があり、異物混入の可能性は完全には否定できない。	△

異物が混入する可能性が完全には否定できない作業における周辺作業の確認結果

No.	機器名称	作業内容	機器開放期間 (第21回 定期検査※)	当該作業で 発生する可能性 のある異物	周辺 作業 有無	周辺作業内容	周辺作業で発生する 可能性のある異物
①	A-タービン動主給水ブ スタポンプ入口ストレーナ	ストレーナ、 胴清掃	7/17 ～7/20	なし	無	なし	周辺作業はないが、作業員が定検作業中のタービン建屋内を 移動し当該ストレーナへ来ることからその際に付着する可能性 は否定できない。
②	B-タービン動主給水ブ スタポンプ入口ストレーナ		7/17 ～7/20	なし	無	なし	
③	4A主給水バイパス流量 制御弁後弁	弁分解点検 手入れ	6/7 ～6/28	なし	無	なし	周辺作業はないが、ウエスを再使用していること、作業以外は 別の箇所保管していることから、その際に付着する可能性は 否定できない。
④	4B主給水バイパス流量 制御弁後弁	弁分解点検 手入れ	6/7 ～6/15	なし	無	なし	
⑤	44 Aタービン動主給水 ポンプミニマムフロー制御 弁後弁	弁分解点検 手入れ	6/19 ～6/25	なし	有	・2次系配管取替 (6/7～6/25)	配管取替えに伴い、保温材外装板の切れ端、配管の切削くず が発生している。
⑥	4B高圧給水加熱器入 口給水逃し弁	弁分解点検 手入れ	6/6 ～7/12	なし	有	・配管検査 (7/2) ・2次系配管取替 (6/15～21)	配管取替えに伴い、保温材外装板の切れ端、配管の切削くず および配管検査に伴い保温材外装板の切れ端が発生している
⑦	電動主給水ポンプウォ ーミング弁	弁分解点検 手入れ	6/26 ～6/29	なし	無	なし	周辺作業はないが、ウエスを再使用していること、作業以外は 別の箇所保管していることから、その際に付着する可能性は 否定できない。
⑧	4B高圧給水加熱器出 口給水圧力計元弁	弁分解点検 手入れ	6/8 ～6/12	なし	無	なし	
⑨	4A主給水隔離弁バラ ンス弁	弁分解点検 手入れ	6/8	なし	無	なし	
⑩	4B主給水隔離弁バラ ンス弁	弁分解点検 手入れ	6/14	なし	無	なし	
⑪	4C主給水隔離弁バラ ンス弁	弁分解点検 手入れ	6/14	なし	無	なし	
⑫	脱気器タンク	タンク内清掃	6/5 ～7/14	なし	有	・2次系配管取替 (6/7～6/25) ・弁分解点検	配管取替えに伴い、保温材外装板の切れ端、配管の切削くず および弁分解点検作業に伴い保温材外装板の切れ端が発生 している。

○発電所の作業において、以下のような資材の切れ端等が発生する。

資材等	現場状況	
<p data-bbox="120 421 416 512">保温材外装板の切れ端</p> 		
<p data-bbox="98 1059 439 1150">配管識別表示等のバンドの切れ端</p> 		

	前回（高浜3号機第23回定検）	今回（高浜4号機第22回定検）
機器立入対策	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器内部に立ち入る作業前に、作業服、靴等に異物の付着がないことを本人以外が確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器内部に立ち入る作業前に、作業服、靴等に異物の付着がないことを本人以外が確認する。 ● <u>機器内部に立ち入る前に、器内作業用の作業服に着替え、靴カバーを着用する。</u> ● <u>開口部に周辺作業と隔離したエリアを設ける。</u>
垂直配管取付弁	<ul style="list-style-type: none"> ● 弁点検時は、弁箱内部に使用する機材（ウエス含む）に異物の付着がないことを確実に事前確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 弁点検時は、弁箱内部に使用する機材（ウエス含む）に異物の付着がないことを確実に事前確認する。 ● <u>最終異物確認時に直接目視で異物確認できない範囲は、ファイバースコープで確認する。</u> ● <u>ウエスは、新ウエスを使用する。</u> ● <u>新ウエスは再使用ウエスと区別して管理する。</u>
その他		<ul style="list-style-type: none"> ● <u>保温材の切れ端等の清掃・片づけは一作業一片づけを徹底し、作業服、靴の異物付着確認を行う。</u> ● <u>異物混入防止対策が作業手順書通りに実施されていることを、現場パトロール等で管理強化する</u>

（1）異物混入の可能性のある作業の調査

（a）弁分解点検作業

1. 準備

- 床養生・周辺養生 ・作業場の4S



2. 分解

- 弁箱シート養生、異物管理シール貼り付けを実施。
分解後は直ちに弁箱のシート養生を実施するため弁箱内に異物を落下させる可能性はない。



※3号機例

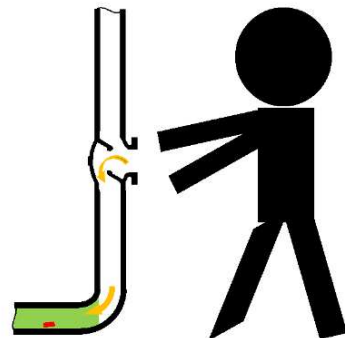


3. 手入れ

- ウエスは使用後再使用している場合があること、他の工具類と同じ工具袋内に保管し運搬されていること、さらに、周辺で別作業により端材が発生する可能性があることから、異物が付着する可能性があり、作業前にウエスに付着物が無いことを確認しているものの、**確実に除去されなかった場合には開放作業時の開口部から混入した可能性は否定できない。**



※3号機例



確認できないエリア

4. 組立・復旧

- 弁箱内部および弁蓋側（弁体・弁棒含む）の異物確認を実施する（**関電（定検管理員）立会**）
パイロットミラーにて上流側、下流側とも確認するが、垂直管に取り付けられた弁については、異物混入後落下した場合、**最終異物確認時点では目視確認が困難な範囲となり異物混入の可能性は完全には否定できない。**
- 復旧時は作業責任者、品管責任者、定検管理員が異物混入防止の観点で連続監視しているため異物混入時は発見が可能である。

（1）異物混入の可能性のある作業の調査

（b）ストレーナ開放点検作業

ストレーナ作業方法

ストレーナ蓋を開放し、中のこし筒を引き抜くとタービン動主給水ポンプ吸い込み側の開口があるため、異物落下防止としてビニールシートにて養生を行う。

①ストレーナ開放時は、作業員が監視しているため、異物落下の可能性は低い

②作業員がストレーナ内部に入り異物落下防止用のビニールシートで養生を行うが、**作業服、靴等に付着していた場合には、異物を落下させる可能性は否定できない。**

③ストレーナ内部に養生が完了すれば、内部の点検手入れ、清掃を行う。養生シートにより作業服、靴等に付着した異物を落下させる可能性は低い。

作業完了後、養生シートを撤去し、異物確認を行うが、**配管内部に落下した異物を確認することが困難な箇所があるため、異物残留を完全には否定できない。**

①



②



③



〔作業に伴う異物管理方法〕

作業は、ストレーナ開放後一人が作業監視、一人が点検清掃作業を行う二人体制で実施する。

ストレーナ内部に入る前に作業に不要な物を持ち込まない、作業服、靴等に付着物が無いことを本人が確認し、作業を開始する。

（本人が目視できない箇所に異物が付着している可能性は否定できない）

清掃作業中発見したスラッジ等は、都度監視人へ渡し、異物残留とならないようにする。

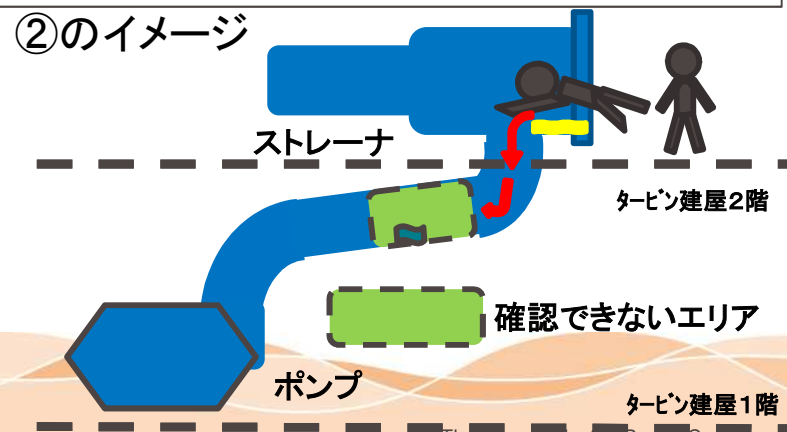
清掃作業終了後は、ストレーナ蓋を仮閉止し（ボルト止め）、異物混入防止を図る。

こし筒清掃作業完了後、作業服、靴等に付着物が無いことを本人が確認し、ストレーナ内配管他の最終異物確認を行う。

こし筒を挿入する。（人の立入なし）

こし筒挿入後、作業服、靴等に付着物が無いことを本人が確認し、こし筒内の最終異物確認を実施し、ストレーナ蓋を閉止する。

②のイメージ



（１）異物混入の可能性のある作業の調査

（c）脱気器タンク開放点検作業

マンホール蓋を開放後、タンク内部に入り、内部の蒸気発生器水張ポンプ吸い込み側の開口部に、異物落下防止として蓋にて養生する。

①作業員がタンク内部養生を行うが、**作業服、靴等に付着していた場合には、異物を落下させる可能性は否定できない。**

②養生が完了すればタンク内部の点検、清掃を行う。
養生蓋により作業服、靴等に付着した異物を落下させる可能性は低い。

作業完了後、養生蓋を撤去し、脱気器タンク内部の異物確認を行うが、蒸気発生器水張ポンプ吸い込み**配管内部に落下した異物を確認することが困難な箇所があるため、異物残留を完全には否定できない。**

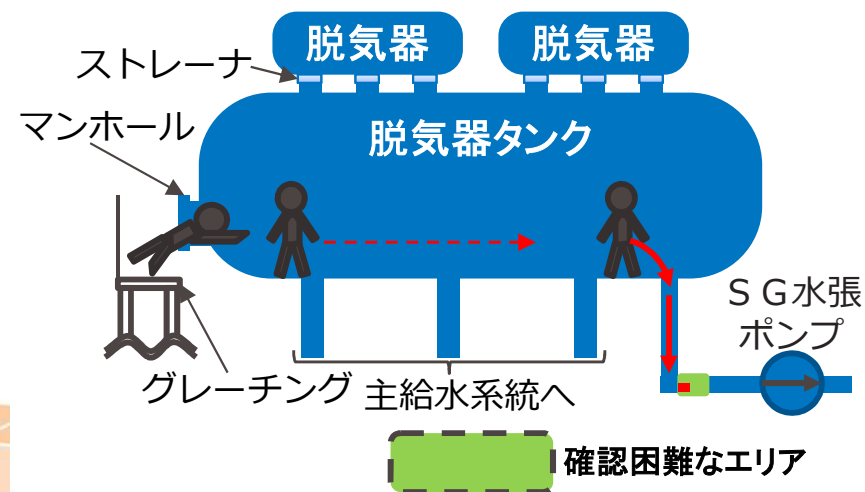
[作業に伴う異物管理方法]

- ・脱気器タンク内部作業時はマンホール部に監視人を配置し、常時監視する。
- ・脱気器タンク内への立ち入り者、持ち込み品は最小限とする。
- ・持ち込み物は確実に持ち出したことを確認する。
- ・脱気器タンク内部清掃等作業前には内部の養生を行う。
- ・脱気器タンクマンホール開放期間中は、マンホールを蓋にて仮閉止し、異物管理を行う。
- ・すべての作業完了後内部の異物確認を行いマンホールを閉止する。

(作業服、靴等に異物が付着している可能性は否定できない)



作業イメージ



国内外で報告されている異物による外面減肉事象を調査し、国内では3件、海外では多数の事例があることを確認した。

○国内：3件（～2019年の調査）

プラント	事象発生年	原因となった異物	備考
高浜3号機	2018年	ステンレス鋼等の金属片(推定)	法令報告対象外
美浜3号機	2000年	溶断作業で発生した2次生成物	法令報告対象
玄海1号機	1975年	鋼製巻尺	原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシア)より

○海外：件（2000年～2018年の調査）※1

2000年～2018年の年別報告件数※1

Palo Verde 3(米国)の例※2

米国の別のプラントの例※3



ガスケット片による減肉発生(2013年)

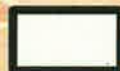


ワイヤによる減肉発生

※1: 米国電力研究所 (EPRI) の蒸気発生器劣化データベースより

※2: 米国原子力規制委員会 (NRC) のホームページより

※3: EPRIレポート(1020631)より



: 枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。