

# 関西電力株式会社からの高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管の損傷に係る報告に対する 評価及び今後の対応について

令和3年3月3日  
原子力規制庁

## 1. 経緯

関西電力株式会社（以下「関西電力」という。）は、第23回定期検査中の高浜発電所4号機（以下「4号機」という。）において、3台の蒸気発生器（以下「SG」という。）の全ての伝熱管<sup>1</sup>に対して渦流探傷試験（ECT）<sup>2</sup>を実施したところ、A-SGの伝熱管1本及びC-SGの伝熱管3本の管支持板部<sup>3</sup>付近に、外面（2次側）からの減肉とみられる有意な信号指示が認められた。なお、本事象に伴う外部への放射能の影響はなかった。

関西電力は、令和2年11月20日、本事象が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第3号に定める報告事項<sup>4</sup>に該当すると判断し、原子力規制委員会に報告した<sup>5</sup>。

なお、本事象は令和2年度第37回原子力規制委員会（令和2年11月11日）で決定された「原子炉等規制法に基づく法令報告の改善について」<sup>6</sup>（別添参照）に基づき「対応区分2」のプロセスで対応してきたところであるが<sup>5</sup>、関西電力から報告のあった原因が令和元年度に報告のあった高浜発電所3、4号機で発生したSG伝熱管（以下「伝熱管」という。）損傷の原因とは異なることから、今回個別に原子力規制庁の評価を報告するものである。

## 2. 事業者からの報告内容

原子力規制委員会は、関西電力から上記1.の事象の原因と対策に関する報告<sup>7</sup>を令和3年1月25日（同年2月19日補正）に受けた。その概要は以下のとおりである。

### 2.1 事象に係る原因調査

ECTで減肉とみられる信号指示が認められた伝熱管について、2次側から小型カメラによる外観観察を行ったところ、当該信号指示が認められた箇所<sup>8</sup>に摩耗痕が確認された。（図1、2参照）

このため、当該事象を踏まえた要因分析図を作成し調査を行った。

<sup>1</sup> 材料はニッケル基合金（インコネル600合金）を使用している。

<sup>2</sup> 高周波電流を流したコイルを伝熱管に挿入することで伝熱管に渦電流を発生させ、伝熱管の欠陥により生じる渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する試験。

<sup>3</sup> 伝熱管を支持する部品。

<sup>4</sup> 「実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則第18条及び第56条に適合していないと認められたとき」に該当すると判断。

<sup>5</sup> 令和2年11月25日原子力規制委員会「原子力施設等におけるトピックス」及び議事録参照。

<sup>6</sup> 令和2年11月11日原子力規制委員会「資料2」参照。

<sup>7</sup> 報告の詳細は「[https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/trouble/houkoku\\_new/220000041.html](https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/trouble/houkoku_new/220000041.html)」を参照。

## 2. 1. 1 使用環境等における調査

過去にSG 2次側において、他プラントで粒界腐食割れ<sup>8</sup>、ピitting<sup>9</sup>、リン酸減肉<sup>10</sup>が発生していることから、その可能性について確認した。

### ○粒界腐食割れ

4号機のようなアンモニアとヒドラジンの注入によるAVT (All Volatile Treatment)<sup>11</sup>を実施し良好な還元性雰囲気<sup>12</sup>が維持されているプラントでは発生していないこと、また表面形状も異なることから、粒界腐食割れではないと判断した。(図3参照)

### ○ピitting

4号機のような塩素濃度が十分低く管理され、アンモニアとヒドラジンの注入によるAVTを実施し良好な還元性雰囲気<sup>12</sup>が維持されているプラントでは発生していないこと、また表面形状も異なることから、ピittingではないと判断した。(図3参照)

### ○リン酸減肉

4号機のようなアンモニアとヒドラジンの注入によるAVTを実施しているプラントでは発生していないこと、また表面形状も異なることから、リン酸減肉ではないと判断した。(図3参照)

## 2. 1. 2 機械的な接触における調査

管支持板等との接触による摩耗減肉、デンティング<sup>12</sup>、流体振動による疲労、エロージョン<sup>13</sup>の可能性について検討した。

### ○管支持板等との接触による摩耗減肉

以下の内容に関する機械的な影響による減肉の可能性<sup>14</sup>があるか確認した。

- 管支持板との接触により摩耗減肉が発生したのであれば、4箇所の管支持板ランド部<sup>14</sup>に減肉が生じるが、目視点検の結果から当該部の減肉は確認できなかったため、管支持板との接触・摩耗によって発生したものではないと判断した。
- SG器内、SGブローダウン系統(復水器回収ライン、系外ブローライン)の目視点検を実施したところ、SG 2次側のスラッジランシング<sup>15</sup>等で回収したスケール<sup>16</sup>及びスラッジ<sup>17</sup>や2次系配管の内表面から生じたとされ

<sup>8</sup> 金属の結晶粒の境目(粒界)に沿って進展する腐食。

<sup>9</sup> 塩素イオン等に起因する金属表面の被膜破壊によって起きる局所的な腐食

<sup>10</sup> 二次系の水処理に使用されたリン酸ソーダがSG伝熱管と支持板の間隙部で局所的に濃縮固着されることによって起きる腐食

<sup>11</sup> pH調整剤のアンモニアと酸素除去剤のヒドラジンで水質調整を行う揮発性物質処理。

<sup>12</sup> 管支持板の腐食及びそれに伴う腐食生成物の体積膨張による伝熱管の変形。

<sup>13</sup> 流体が金属表面に衝突することで生じる機械的な衝突力で材料が損傷する現象。

<sup>14</sup> 管支持板に加工されている四ツ葉型管穴のうち凸面部。

<sup>15</sup> SG管板部に堆積したスラッジを水圧により除去する方法。

<sup>16</sup> 2次系配管等に含まれる鉄イオンや鉄の微粒子が、給水系統によってSG伝熱管に流れ集まって生成されたもの。

<sup>17</sup> スケールを形成せず粒子状となり、水中を漂うものや、スケールが砕けて小さくなったものが管支持板上等に堆積したもの。

る鉄さびは確認したが、それ以外の異物は確認されなかった。また、SG内部品の経年劣化に起因した脱落については、給水内管裏当金の溶接部に損傷がないことを確認した。

#### ○デンティング

表面形状が異なることから、デンティングではないと判断した。(図3参照)

#### ○流体振動による疲労

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、また表面形状も異なることから、疲労損傷ではないと判断した。(図3参照)

#### ○エロージョン

事象が発生した箇所の流速はインコネル600製伝熱管のエロージョンが発生する限界流速に比べて十分小さく、また表面形状も異なることから、エロージョンではないと判断した。(図3参照)

### **2. 1. 3 付着物に関する調査**

伝熱管を小型カメラにて目視点検を実施した結果、A-SG伝熱管の傷に接触する付着物及びC-SG伝熱管1本と第三管支持板の間に挟まっている付着物を確認したため、それらを回収し調査を行った。

#### ○A-SG

付着物の外観観察の結果、伝熱管減肉部と付着物の接触想定部には接触痕があり、光沢が確認された。

材質の成分分析の結果、主成分が酸化鉄(マグネタイト)であり、伝熱管の外径に近い形状であることから伝熱管に付着していたスケールが剥離したものであると推定した。また、接触想定部の表層に伝熱管の母材の成分であるニッケル及びクロムを検出した。

#### ○C-SG

付着物の外観観察の結果、接触痕や光沢が確認されなかった。

材質の成分分析の結果、主成分が酸化鉄(マグネタイト)であり伝熱管の外径に近い形状であることから伝熱管に付着していたスケールが剥離したものであると推定した。また、一部の平滑な面に伝熱管の母材の成分であるニッケルをわずかに検出した。

### **2. 1. 4 回収物に関する調査**

C-SGにおいて、A-SGと同様に接触痕等のあるスケールの有無を確認するため、減肉を確認した伝熱管を中心に減肉箇所下方の第二及び第一管支持板上にあるスケールを約300個回収し確認した。その結果、回収したスケールのうち3つ

に伝熱管と接触したと思われる痕が見られ、成分分析の結果、伝熱管との接触が推定される箇所に伝熱管の母材成分であるニッケル及びクロムを検出した。

### 2. 1. 5 原因調査のまとめ

2. 1. 1から2. 1. 4の調査結果から、A-SGについては、伝熱管のきず  
に接触したスケール、C-SGについては、回収したスケールのうち接触痕を確認  
したものにより摩耗減肉が発生した可能性が高いと判断した。

## 2. 2 事象の推定メカニズム

2. 1の調査結果を踏まえ、伝熱管を減肉したと推定されるスケールの生成メカニ  
ズム及び当該スケールの挙動並びに減肉メカニズムを以下のとおり推定した。

### 2. 2. 1 スケール生成に関するメカニズム

これまでの水化学に関する知見から、2次系構成機器の流れ加速型腐食等で生じ  
る鉄イオンや鉄の微粒子が、給水とともにSG2次側へ持ち込まれることにより析  
出付着及び蒸発残渣が発生することで伝熱管の上部ほど密度が比較的low粗な性  
状（以下「粗密」という。）の厚いスケールが、伝熱管の下部ほど密度が比較的高  
い密な性状（以下「稠密」という。）の薄いスケールが付着することが確認されて  
いる。（図4参照）

過去の高浜発電所3号機（以下「3号機」という。）の伝熱管の抜管調査及び今回  
の4号機におけるスケール調査において、伝熱管の上部に付着したスケールほど粗  
密で厚く、伝熱管の下部に付着したスケールほど稠密で薄いことを確認した。

また、スケール厚さは、主蒸気圧力やSG伝熱抵抗係数により推定することがで  
き、4号機の変化量を確認した結果、いずれも運転時間の経過とともに圧力低下や  
係数増加が認められるため、経年的に増加していると推定した。

### 2. 2. 2 スケール剥離に関するメカニズム

伝熱管表面に生成したスケールの剥離については、次のとおり起動停止時の伝熱  
管の熱伸びと収縮によるものと推定される。（図5参照）

- プラント起動時の伝熱管の熱伸びに伴い、当該伝熱管表面のスケールに割れ  
が生じる。
- プラント運転中に割れの隙間が新たに生成したスケールで埋まる。
- 隙間が埋まったため、プラント停止時の熱収縮に追従できずスケールが剥離  
する。

4号機は2011年から約6年間長期停止状態となっており、その間、SG器内  
は腐食を防止するためヒドラジン水による満水保管状態としていた。このため、こ  
の状態がスケール剥離挙動に影響を与えるか調査したところ、ヒドラジン水による  
浸漬の時間の経過とともにスケールを構成する鉄粒子の粒径が大きくなることを

確認し、これによりスケールの伝熱管との接触面積が減少し、剥離が促進される可能性があると推定した。

### **2. 2. 3 減肉メカニズム**

A及びC-SGで回収されたスケールについて、断面マイクロ観察を実施した結果、空隙率<sup>18</sup>5%以下の稠密層が形成されていることを確認した。(図6参照)

また、今回回収したスケールと同等の稠密さ、厚さのスケール3個を用いて摩耗試験を実施したところ、摩耗体積比(伝熱管の摩耗体積:スケールの摩耗体積)は最大1:0.5となり、伝熱管の方が速く摩耗することを確認した。

なお、3号機第24回定期検査で発生した伝熱管損傷の事象に対する摩耗試験で使用したスケールは、稠密さではなく厚さに着目して試験体を選定したため、スケールの方が速く摩滅したと推定される。

以上より、伝熱管に減肉を与える可能性があるスケール性状は稠密さが重要であり、稠密なスケールは伝熱管と接触することで減肉を発生させる可能性が高いことを確認した。

### **2. 2. 4 SG器内挙動の推定及び接触状態の再現性**

プラント停止時に伝熱管から剥離し、管板上に落下したスケールは、運転中のSG2次側器内の流況下では流体抗力がスケールの落下力を上回ることから、伝熱管群内の上昇流に乗って流量分配板及び各管支持板フローロット部を通過したと考えられる。また、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、第一管支持板及び第二管支持板フローロット部を通過したものが第三管支持板の低温側下面に保持されたと推定するとともに(図7参照)、SG2次側の流況モックアップ試験装置により、実機二相流相当の条件下において、推定した接触状態を再現できることを確認した。

### **2. 2. 5 摩耗形態の推定**

スケールとの接触により伝熱管が摩耗する場合、スケールの振動により摩耗するケースと伝熱管の振動により摩耗するケースが考えられるため、各ケースで想定されるワークレート<sup>19</sup>を比較した。

スケールが振動するケースについては、スケール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、有意な減肉は発生しないことを確認した。

伝熱管が振動するケースについては、スケールが流体力により管支持板下面に保持された場合、流動振動解析により十分なワークレートが得られることを確認した。

<sup>18</sup> スケールの断面の厚さ方向を0.02mmピッチで区切った上で、各空間の空隙数をカウントし、全区間の平均値を求めたもの。

<sup>19</sup> 摩耗を生じさせる仕事率のこと。押付力と摺動速度の積で表現される。

スケールと伝熱管の接触状態については、推定したスケールと伝熱管の接触状態に応じた減肉形状を実験で確認するとともに、実験で得られた減肉形状と同等の人工欠陥を与えた伝熱管のモックアップ試験にてECT信号を取得し、実機の信号と整合することを確認した。また、流動振動解析により算出した1サイクルの運転時間で発生する摩耗体積と人工欠陥の摩耗体積は整合しており、今回確認された減肉は、1サイクルで発生した可能性があることを確認した。

以上のことから、伝熱管から剥離した稠密なスケールが、第三管支持板低温側下面へ移動するとともに、流体力により当該下面で保持されて伝熱管へ摩耗減肉を与えた可能性があるかと推定した。

### 2. 3 高浜発電所3、4号機の特異性に関する調査

今回の事象の原因がスケールと推定されるため、スケールの生成や性状に寄与する鉄の持込み量等の調査及び実機スケールの断面ミクロ観察の結果について、他の関西電力のプラントと比較調査を実施した。

その結果、表1及び表2に示すとおり、高浜発電所3、4号機は鉄の持込み量が最も多く、薬品洗浄も実施しておらず、稠密層も厚く成長していることを確認した。

表1 各プラントの鉄持込み量及び薬品洗浄実績

	高浜3	高浜4	大飯3	大飯4	美浜3※	高浜1※	高浜2※
運転時間 (万時間)	22.3	22.2	17.0	17.2	9.0	10.9	12.5
鉄持込み量 (kg/SG)	2,620	2,490	1,850	1,950	780	680	940
薬品洗浄 実績回数	—	—	2回	1回	—	—	—

※SG取替以降の実績

表2 実機スケールの観察結果

回収場所	高浜4号機 鉄持込み量： 2,490kg/SG	大飯4号機 鉄持込み量： 1,950kg/SG	高浜2号機 鉄持込み量： 940kg/SG
第二管支持板 ～ 管板間	空隙率5%以下の稠密層厚さ ：最大0.18mm	空隙率5%以下の稠密層厚さ ：最大0.04mm	空隙率5%以下の稠密層厚さ ：—mm (伝熱管へのスケール付着がごく軽微であり、採取できるほどの厚みなし)

## **2. 4 推定原因**

2. 1から2. 3の結果から、本事象の発生原因は以下の内容と推定した。

- プラント運転中に2次系給水とともに持ち込まれた鉄イオン及び鉄微粒子により、伝熱管表面にスケールが生成した。
- 生成したスケールは、プラントの起動停止による熱伸び及び収縮により剥離した。
- 剥離したスケールのうち、稠密な性状をもつスケールが、SG内の上昇流に乗って第三管支持板下面に到達し、伝熱管と接触した状態で保持され、運転中に生じる伝熱管の振動によって、伝熱管外表面を減肉させた。

## **2. 5 減肉した伝熱管の健全性**

今回減肉が確認された伝熱管の強度について「高浜3、4号機SG伝熱管の旧振止め金具による局部減肉の特殊設計施設認可申請」で用いた評価式により、最大深さの減肉を有するC-SGの伝熱管の内外差圧による破断圧力を算出したところ、通常運転時及び事故時の最大内外差圧に対し十分な裕度があることを確認した。

また、耐震性について、基準地震動 $S_s$ による地震力及び伝熱管全長モデルから、最大深さの減肉を有するC-SGの伝熱管直管部に作用する力を算出したところ、今回発生した減肉を考慮しても発生応力及び疲労累積係数に十分な裕度があることを確認した。

## **2. 6 再発防止対策**

### **2. 6. 1 対策の検討**

本事象の発生原因が、伝熱管から剥離した稠密な性状のスケールが伝熱管外表面を減肉させたと推定されるため、当該スケールを脆弱化させるための対策として、大飯発電所3号機等で実績のある薬品洗浄の有効性を確認した。

#### ○薬品洗浄試験

4号機で採取した稠密な性状のスケールで浸漬試験を行った結果、稠密層厚さが減少していることを確認した。また、その後の摩耗試験において、いずれのスケールも欠損または伝熱管よりも速く摩滅することを確認した。

#### ○実機薬品洗浄

4号機と同様な性状のスケールが蓄積していると考えられる3号機のSGにおいて薬品洗浄を実施し、脆弱化の効果を確認した結果、上記の薬品洗浄試験と同様の結果が得られたことを確認した。（図8、9参照）

以上のことから、SG器内の薬品洗浄は、スケールに起因した伝熱管損傷事象の対策として有効であることを確認した。

## **2. 6. 2 対策の実施**

SG器内の薬品洗浄を行い、同器内の稠密な性状のスケールを脆弱化させる。

今後は、3号機も含めて毎定期検査時にスケールの稠密層厚さの確認及び摩耗試験を実施する。稠密層厚さ0.1mm未満及び摩耗体積比0.1未満であることを確認し、それを超えた場合は薬品洗浄を実施する。(図10参照)

また、これまで実施している異物混入防止対策についても引き続き実施する。

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

## **3. 原子力規制庁の評価及び考察**

### **3. 1 原因調査結果等**

伝熱管の傷に接触していた付着物及びSG器内からの回収物については、化学成分分析等の結果から、SG伝熱管表面に生成されたスケールであり、これらにより摩耗減肉が発生したと推定することは妥当であると評価する。

また、伝熱管の損傷に至った原因については、伝熱管から剥離した稠密なスケールがSG内で移動し摩耗減肉を発生させることをモックアップ及び解析等により確認しており、当該スケールが管支持板下面において伝熱管と接触した状態で保持され、伝熱管の振動により、伝熱管に摩耗減肉が生じたと推定することは妥当であると評価する。

### **3. 2 安全上の影響**

本事象において、スケールにより伝熱管4本が減肉したが、3.1で妥当と評価した伝熱管の振動による減肉においては、伝熱管と管支持板との隙間に強く固定され常に伝熱管に接触し続けた場合であっても、振幅が制限されるため、貫通には至らないと考えられる。

また、最大深さの減肉を有する伝熱管の破断圧力は、通常運転時及び事故時の内外差圧に対して裕度があることから、原子炉施設の安全機能は確保されていたものと評価する。

なお、最大深さの減肉を有する伝熱管の破断圧力は、通常運転中の伝熱管内外差圧に対して3倍以上の裕度があることから「原子力安全に係る重要度評価に関するガイド」の「附属書1 出力運転時の検査指摘事項に対する重要度評価ガイド」により評価した場合、重要度は「緑」<sup>20</sup>となる。

<sup>20</sup> 安全確保の機能または性能への影響はあるが限定的かつ極めて小さいものであり、事業者の改善措置活動により改善が見込める水準



### **3. 3 再発防止対策**

SG器内の稠密な性状のスケールを脆弱化させるため、同器内の薬品洗浄を実施する対策は、他プラントの実績、SG器内から採取したスケールを用いた検証試験及び先行して実施した3号機での薬品洗浄の結果を踏まえ妥当であると評価する。

また、今後の保全指標として、毎定期検査時にスケールの稠密層厚さ0.1mm未満及び摩耗体積比0.1未満であることを確認し、それを超えた場合は薬品洗浄を実施するとしたことは、SG器内から回収したスケール等の稠密層厚さと摩耗体積比の関係から妥当であると判断する。

### **4. 今後の対応**

当庁としては、今回の事象を踏まえ関西電力が定期検査時に行うスケールの稠密層厚さ等の確認、薬品洗浄の実施状況及び運転中のSG伝熱抵抗係数の推移について、原子力規制検査にて確認を行うとともに、引き続きこれまでのSG伝熱管損傷に係る異物混入防止対策の実施状況及び定期事業者検査（SG伝熱管体積検査）の結果についても、当該検査にて確認していくこととする。

### **5. INES（国際原子力・放射線事象評価尺度）評価**

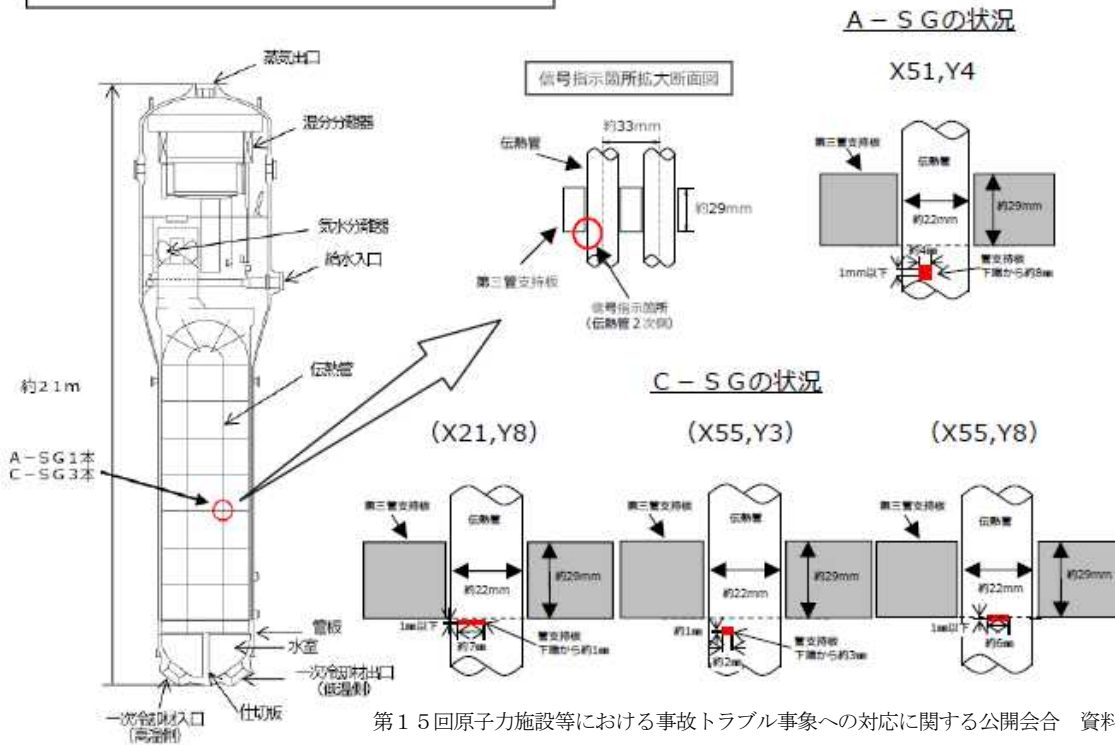
当該事故・故障等に係るINES評価について、以下のとおり確定する。

最終評価：0

判断根拠： 本件は、定期検査のため原子炉を停止した状態で、渦流探傷試験を実施したところ、蒸気発生器の伝熱管に有意な信号指示を確認したものであり、原子炉施設の安全に影響を与えない事象であるので、INESレベル0の「安全上重要でない事象」と評価する。

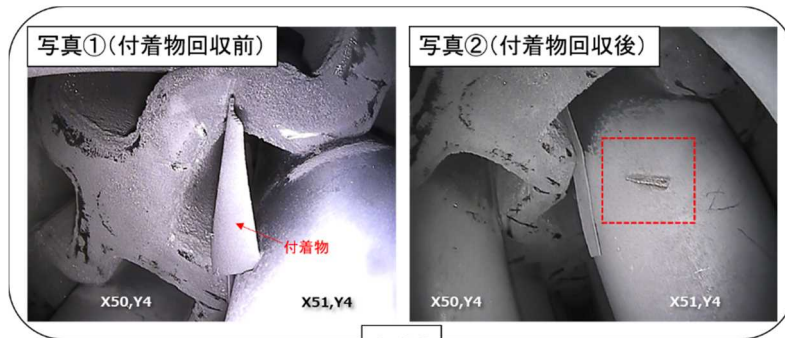
※INESナショナルオフィサーは、長官官房総務課事故対処室長

# SG伝熱管信号指示箇所概要図

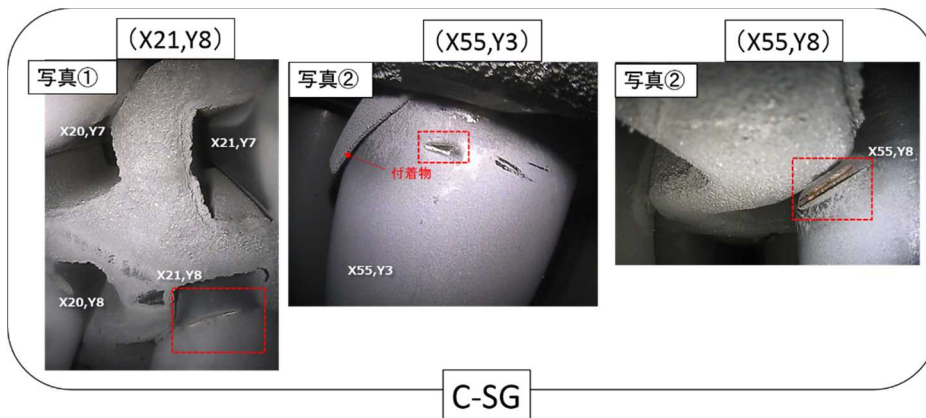


第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-1抜粋

図1 SG伝熱管信号指示箇所概要図



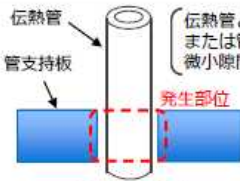
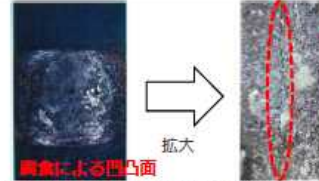

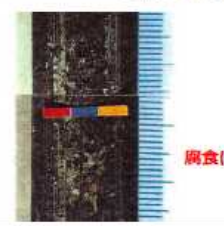




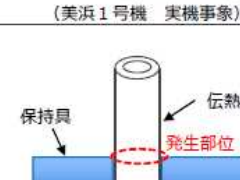

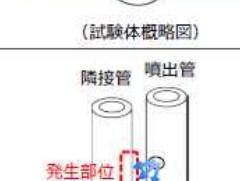

A-SG



C-SG

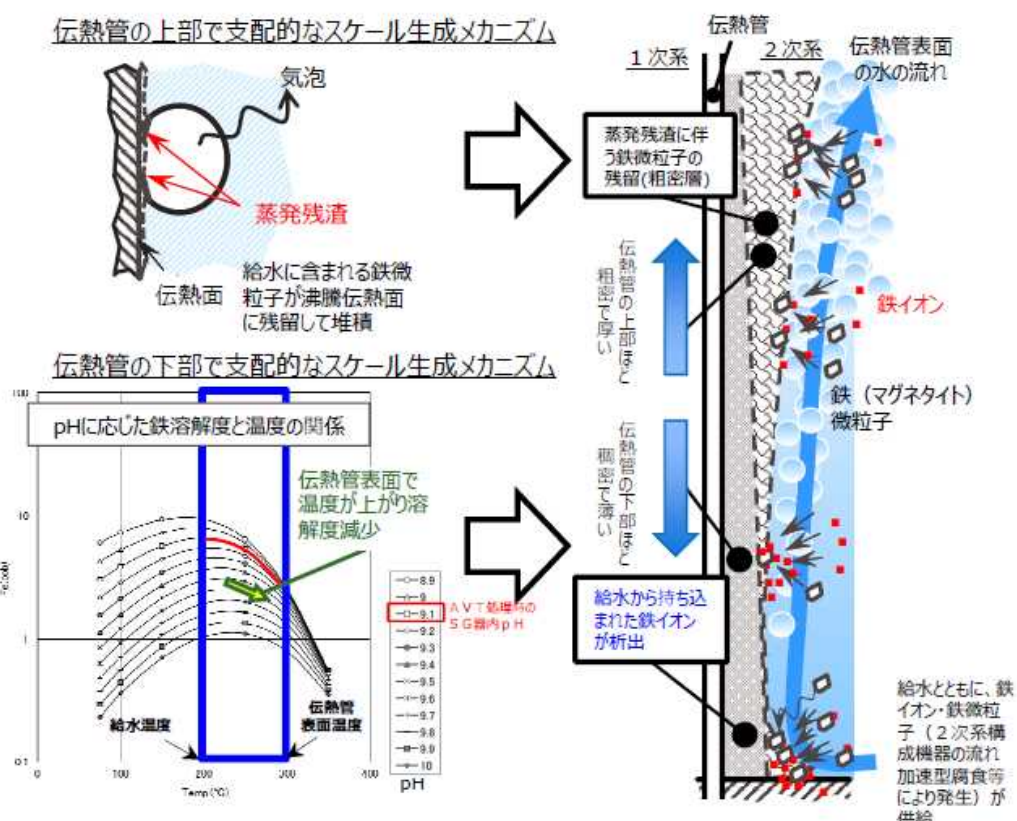
第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-2引用

図2 SG伝熱管減肉部写真

	発生部位	表面形状
粒界腐食割れ (IGA)	 <p>伝熱管 管支持板 発生部位 (試験体概略図)</p> <p>(伝熱管と管支持板 または管板との 微小隙間で発生)</p>	 <p>腐食による凹凸面 拡大 割れ 拡大観察 (×20倍)</p> <p>(昭和63年度 共同研究報告書「蒸気発生器改良型伝熱管 長期腐食信頼性に関する研究」より抜粋)</p>
ピitting	 <p>堆積スラッジ 伝熱管 管板 発生部位 (管板上のスラッジ 堆積部で発生)</p> <p>(美浜1号機 実機事象)</p>	 <p>腐食による孔食</p>
リン酸減肉	 <p>パーティクル ストラップ 発生部位 (伝熱管等の隙間で発生)</p> <p>伝熱管 スカラップドバー</p> <p>(美浜1号機 実機事象)</p>	 <p>腐食による減肉 拡大観察 (×3倍)</p>
デンディング	 <p>発生部位 (管支持部で発生)</p> <p>伝熱管 スカラップドバー</p> <p>(美浜1号機 実機事象)</p>	 <p>伝熱管圧迫による変形</p>
流体振動 による疲労	 <p>保持具 伝熱管 発生部位</p> <p>(試験体概略図)</p>	 <p>疲労による割れ 拡大観察 (×10倍)</p> <p>(平成9年度「溶接部熱影響部信頼性実証試験に関する 事業報告書 (発電設備技術検査協会)」より抜粋)</p>
エロージョン	 <p>隣接管 噴出管 発生部位</p> <p>(試験体概略図)</p>	 <p>エロージョンによる減肉 拡大 減肉部</p> <p>(昭和54年度 蒸気発生器信頼性実証試験 伝熱管破断試験結果より)</p>

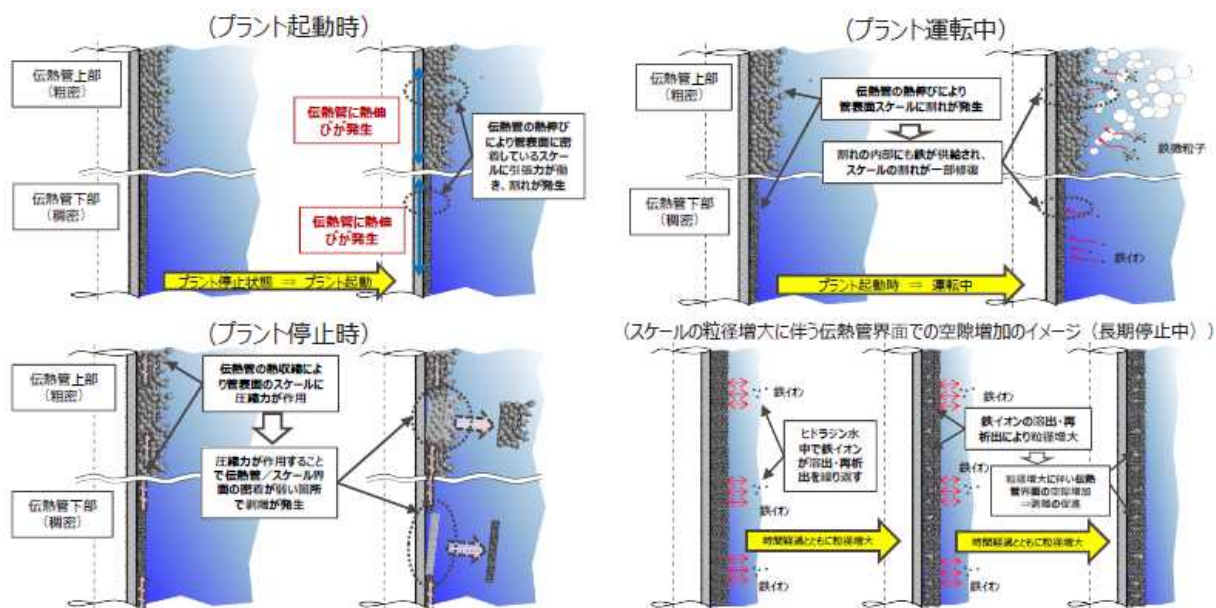
第10回原子力施設等における事故トラブル  
事象への対応に関する公開会合 資料1引用

図3 SG伝熱管減肉事象の発生部位と表面形状



第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-1 抜粋

図4 スケール生成のメカニズム



第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-1 抜粋

図5 スケール剥離のメカニズム

回収場所	A-SG 回収スケール 第二管支持板下部	C-SG 回収スケール(C2) 第二管支持板上	C-SG 回収スケール(C3) 第一管支持板上	C-SG 回収スケール(C4) 第二管支持板上	【参考】B-SG 第七管支持板上
断面ミクロ観察結果	 空疎率5%以下の 稠密層の範囲 約0.2~ 0.3mm 伝熱管 界面	 約0.3mm 伝熱管 界面	 約0.3mm 伝熱管 界面	 約0.3mm 伝熱管 界面	 約0.68mm 伝熱管 界面
性状	稠密層が主体	稠密層が主体	稠密層が主体	稠密層が主体	粗密層が主体
厚さ	約0.2~0.3mm	約0.3mm	約0.3mm	約0.3mm	約0.68mm
伝熱管をきずつける可能性	あり	あり	あり	あり	なし
運転時間	22.2万時間				

第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-1 抜粋

図6 高浜発電所4号機で回収したスケールの断面ミクロ観察

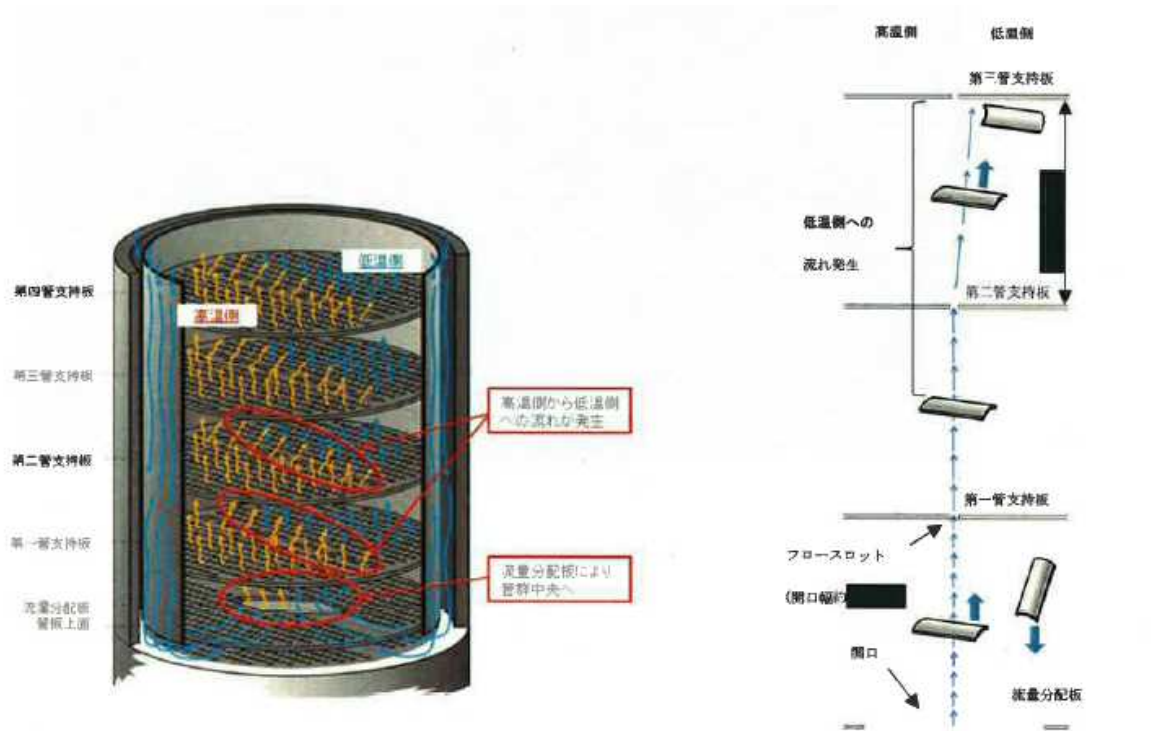
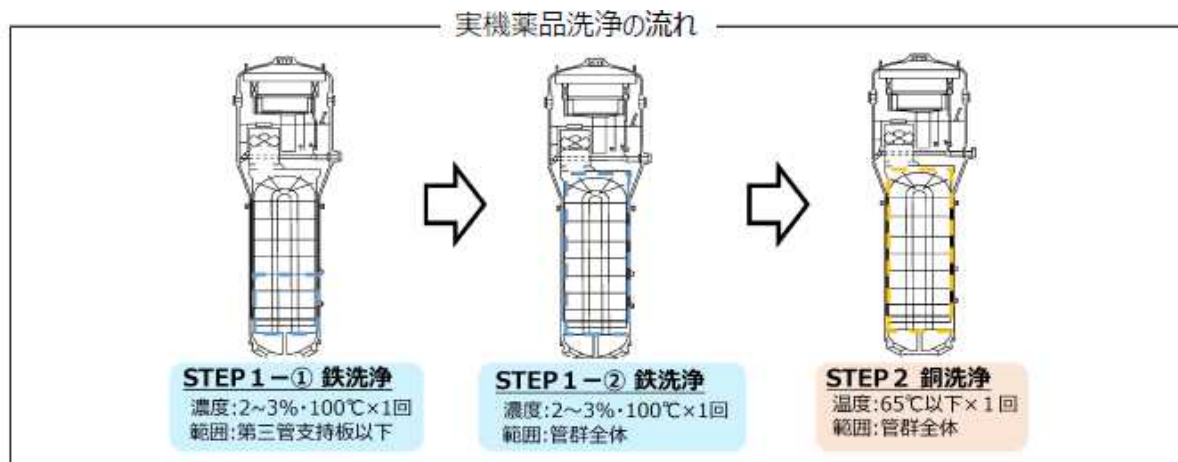


図1 SG 2次側下部の器内流況およびスケール挙動 流れ方向は、管支持板間の平均的な水平方向流  
速と上昇方向流速を合成して図示した。

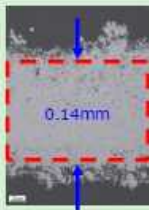
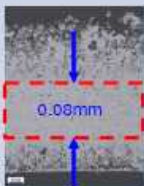
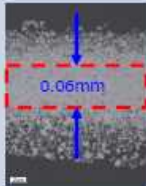

第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-2 抜粋

図7 SG 2次側下部の器内流況及びスケール挙動



第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1-1 抜粋

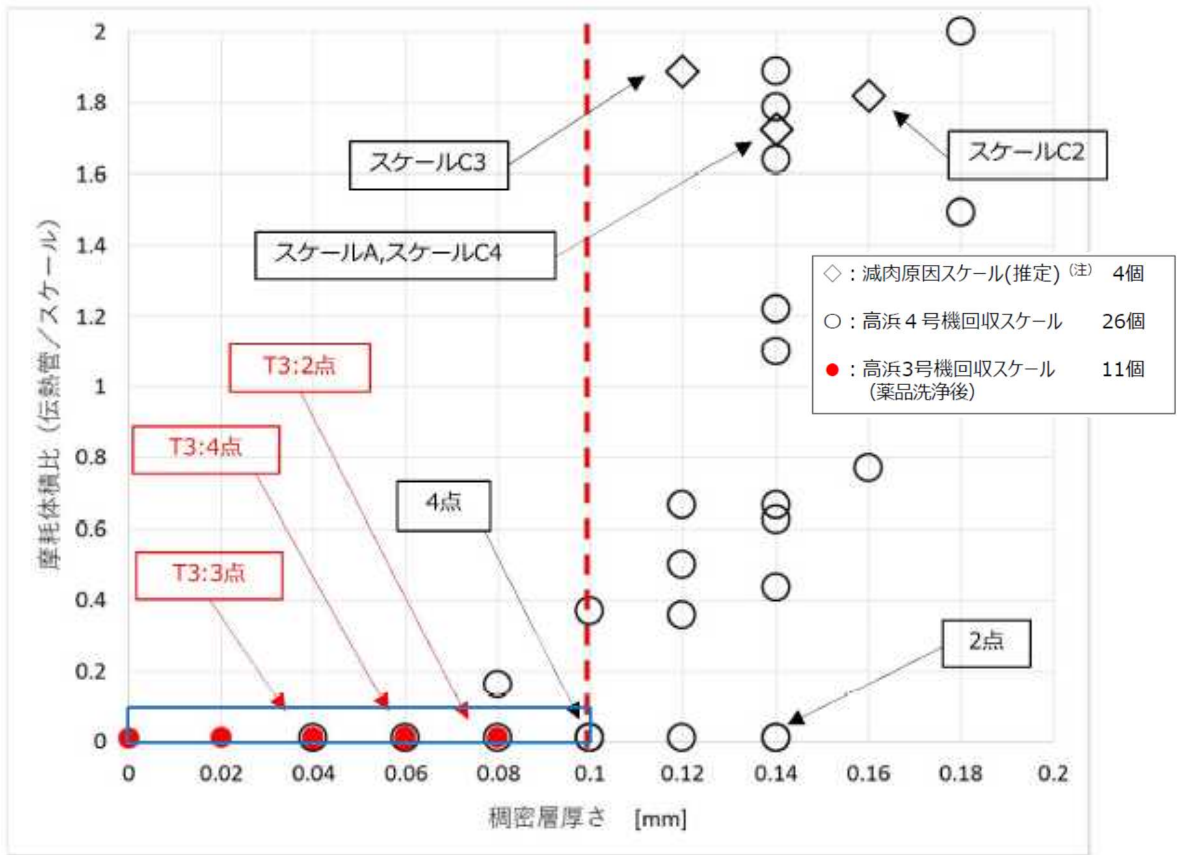
図8 高浜発電所3号機におけるSG実機の薬品洗浄方法

回収場所	<薬品洗浄前> C-SG 回収スケール 第一管支持板上	<薬品洗浄後> A-SG 回収スケール 第一管支持板上 (ケース2)	<薬品洗浄後> C-SG 回収スケール 第一管支持板上 (ケース6)	<薬品洗浄後> C-SG 回収スケール 第七管支持板上 (参考)
断面ミクロ 観察結果				
稠密層厚さ (mm)	0.14	0.08	0.06	0.00
スケール厚さ* (mm)	0.2	0.2	0.2	0.5

※: ノギスにより計測  
: 稠密層の範囲

第16回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1 抜粋

図9 高浜発電所3号機の薬品洗浄後に回収したスケールの断面ミクロ観察



第16回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合 資料1 引用

図10 高浜発電所3、4号機回収スケールの稠密層厚さと摩耗体積比の関係

## 原子炉等規制法に基づく法令報告の改善について

令和 2 年 11 月 11 日  
原子力規制庁

### 1. 背景

原子炉等規制法<sup>1</sup>第62条の3に基づく事故トラブルの報告(以下「法令報告」という。)は、事業者に対して、個々の事業規則で定める事象の報告を義務付けている制度で、事業者による原因究明及び再発防止策の実施と他事業者での水平展開の実施を促進させることに加え、規制機関として事象分析を通じて規制への反映を検討すること等を目的としている。

本制度の運用としては、原子力規制庁が事業者から提出された報告の内容を確認・評価を行って原子力規制委員会に報告し、当該評価を委員会決定する対応を一律で行っている。

一方、法令報告事象の中には、運転を停止し廃止を検討している施設での事象など安全上の影響が小さいものが存在するほか、同様の原因により繰り返し発生する事象など、改めて原子力規制委員会で評価する必要性に乏しいものも含まれている。また、過去の原子力規制委員会の議論において、安全上の影響を考慮しない一律の対応や<sup>2</sup>、事業者が提出する報告内容に関して規制当局による不必要な関与<sup>3</sup>を避けるべきといった指摘もなされてきた。

こうした指摘を受け、これまで、安全上の影響が小さい事象についてはまとめて原子力規制委員会に報告する等、運用の改善を行っているが(参考1)、今年度から原子力規制検査が運用開始となり、同検査との関係を整理する<sup>4</sup>など、引き続き改善が必要である。

### 2. 検討の方向性

原子力施設における事故やトラブルについては、一義的に原子力施設の安全に責任を有する事業者が原因を究明し、再発防止を図ることが基本である。また、発生した事故トラブルの原子力安全上の影響の程度に応じて関与することが肝要である。こうした視点から、以下のように、主として、事務手続による

<sup>1</sup> 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

<sup>2</sup> 令和 2 年 06 月 03 日第 8 回原子力規制委員会/国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所材料試験炉二次冷却系統の冷却塔倒壊に係る報告に対する評価及び今後の対応について

<sup>3</sup> 平成 30 年 4 月 25 日第 5 回原子力規制委員会/浜岡原子力発電所廃棄物減容処理装置建屋内における放射性物質を含む堆積物の確認に伴う立入制限区域の設定に係る中部電力からの報告に対する評価及び今後の対応について

<sup>4</sup> 令和元年 10 月 23 日第 38 回原子力規制委員会/国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所材料試験炉(JMTR)冷却塔倒壊に関する法令報告事案を踏まえた当面の対応について



法令報告対象の見直し、原子力規制委員会側の対応プロセスについて改善を進める。

### (1) 法令報告の対象や手続

主な論点

- 報告対象の追加・除外

法令報告対象のうち、制度の趣旨・目的に寄与していないものがあれば、報告対象から除外する。また新たに報告が必要と考えられる事象があれば、報告対象に追加する（規則改正等が必要）。

除外の例：廃止措置申請中の施設で発生する法令報告事象のうち、安全上の影響が小さいと考えられるもの

- 事業者からの報告書提出期日

事業者は法令報告事象が発生した際、当該事象の状況等について、発生後速やかに及び 10 日以内に報告することとなっている。このうち、10 日以内の報告については、原因と再発防止対策等の重要な情報が記載されずに提出されることが多いため、提出期日を例えば 10 日以内から 30 日以内にする等、見直しを実施する（規則改正が必要）。

### (2) 対応プロセス

法令報告事象について、想定される原子力安全上の影響の程度等に応じて、別紙 1 に示す 3 つの区分にて対応することとし、個々の事象発生後速やかにその概要及びどの対応区分で対応するかについて、原子力規制委員会に報告し、了承を得る。

また、これまで実施している原子力規制委員会による法令報告事象の評価については法令上の要求ではないことから、原子力規制検査における検査指摘事項の重要度評価の運用との整合を図るため、今後は原子力規制庁が評価を行い、原子力規制委員会に報告・了承を得る運用としたい（別紙 2 のフロー図参照）。

## 3. 改善の進め方

上記のうち、2. (1) の法令報告対象事象の見直し及び事業者からの報告書提出期日の見直しについては、規則改正等が必要であるため、担当審議官の下で事業者からの意見聴取含め、検討を進める。検討内容について、年度内を目途に原子力規制委員会に報告し、来年度上期を目途に規則改正案を審議いただきたい。

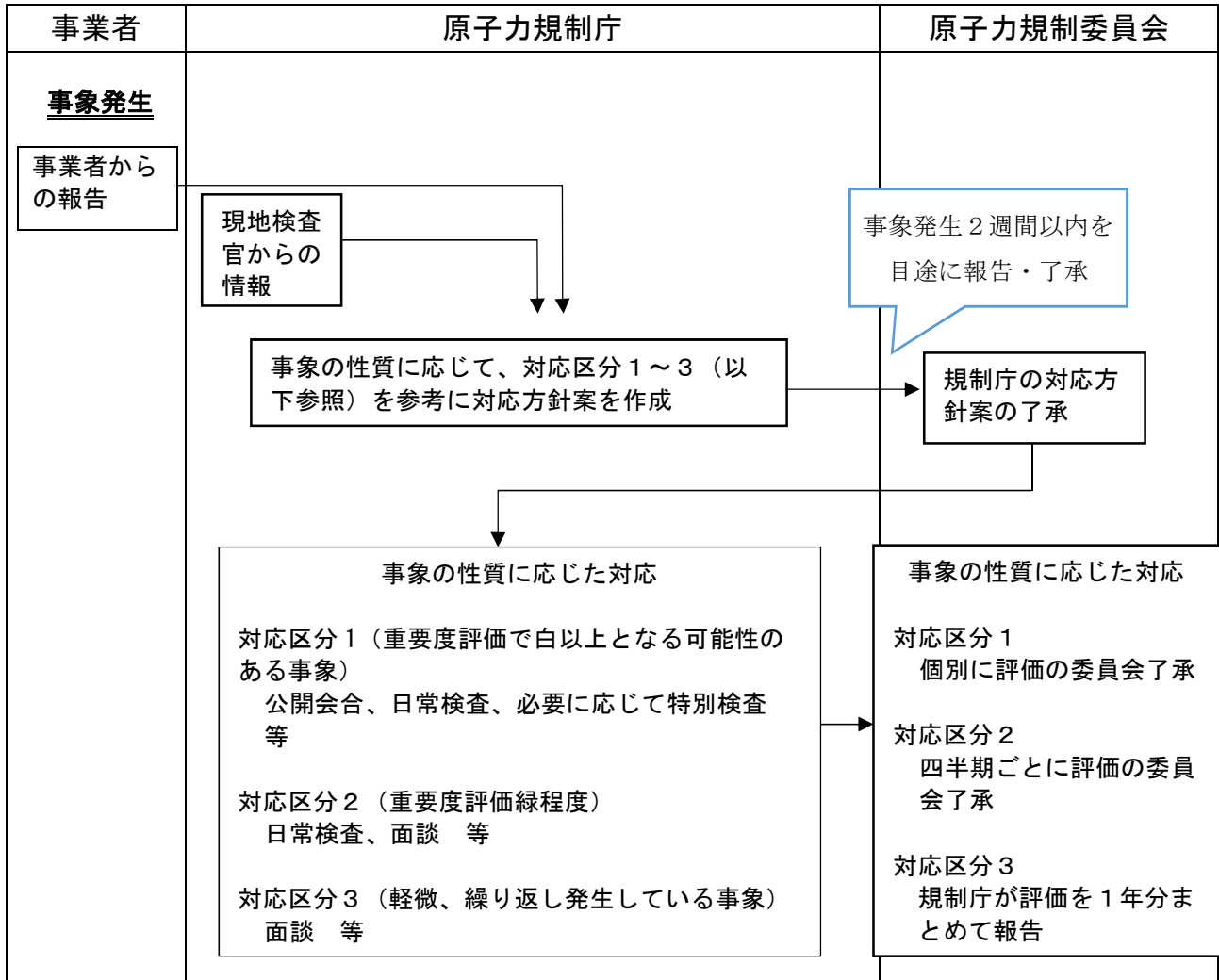
また、2.(2)の対応プロセスについては、別紙1及び別紙2に基づく対応を開始しつつ、年度内を目途に原子力規制庁のガイドとして文書化を行う。

	対応区分 1	対応区分 2	対応区分 3
対象事象	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力規制検査の重要度評価で白以上となる可能性のある法令報告事象<sup>5</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力規制検査の重要度評価で緑程度と考えられる法令報告事象<sup>6</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力規制検査の重要度評価で軽微と考えられる法令報告事象</li> <li>繰り返し発生し、原子力規制委員会において既に評価済みの法令報告事象</li> </ul>
検査での対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常検査</li> <li>必要に応じて特別検査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常検査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要に応じて日常検査</li> </ul>
調査方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>公開会合</li> <li>面談</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>面談</li> <li>必要に応じて公開会合を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>面談</li> </ul>
委員会への報告	<ul style="list-style-type: none"> <li>個別に原子力規制庁の評価を報告し、原子力規制委員会の了承を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>四半期の原子力規制検査の実施状況報告時に、まとめて原子力規制庁の評価について報告し、原子力規制委員会の了承を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>年度明けに、年間に発生した法令報告事象について、原子力規制庁の評価をまとめて報告する。</li> </ul>

<sup>5</sup> 核燃料施設等の場合は指摘事項あり（追加対応あり）の可能性のある法令報告事象

<sup>6</sup> 核燃料施設等の場合は指摘事項あり（追加対応なし）程度の法令報告事象

法令報告の対応フロー（案）



## これまでの法令報告の主な対応見直し

規制委員会の日程 / 議題	概要
平成 29 年 2 月 8 日 第 60 回原子力規制委員会 議題 4 原子力施設におけるトピックスの報告について ( <a href="https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11402581/www.nsr.go.jp/data/000177900.pdf">https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11402581/www.nsr.go.jp/data/000177900.pdf</a> )	法令報告等の事故トラブル情報について、トピックスとして原子力規制委員会に報告する運用を開始。
平成 30 年 1 月 31 日 第 63 回原子力規制委員会 議題 1 島根原子力発電所 2 号機中央制御室空調換気系ダクトの腐食に係る中国電力からの報告に対する評価及び今後の対応について（案）及び原子力施設等における事故故障等への対応における安全上の影響の評価の考え方について ( <a href="https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11402581/www.nsr.go.jp/data/000217475.pdf">https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11402581/www.nsr.go.jp/data/000217475.pdf</a> )	法令報告について、顕在化した安全上の影響のみならず、想定される影響の範囲、程度等、潜在的な安全上の影響等を考慮し、求めるべき原子力安全上の対応措置等の教訓について、考察をする視点の例を設定。
平成 30 年 5 月 23 日 第 10 回原子力規制委員会 議題 2 事故・トラブル事象への対応の進め方について ( <a href="https://www.nsr.go.jp/data/000231543.pdf">https://www.nsr.go.jp/data/000231543.pdf</a> )	事故故障等の発生を防止し、安全確保を図る事業者の責任を明確にするとともに、対応状況の透明性の確保や、進捗管理を適切に行うため、必要に応じて公開会合を開催する運用を開始。
令和元年 10 月 23 日 第 38 回原子力規制委員会 議題 3 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所材料試験炉（J M T R）冷却塔倒壊に関する法令報告事案を踏まえた当面の対応について ( <a href="https://www.nsr.go.jp/data/000287843.pdf">https://www.nsr.go.jp/data/000287843.pdf</a> )	原子力安全上の問題が大きくないと判断される事案については、委員会にトピックスの情報を共有する際に、取扱い方針を提案し、委員会の判断を仰ぐ運用を開始