

平成12年9月18日
原子力安全対策課
(12-57)
<14時記者発表>

美浜発電所3号機の定期検査状況について
(A-蒸気発生器伝熱管の異物による損傷の原因と対策)

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

美浜発電所3号機(加圧水型軽水炉;定格出力82.6万kW)は、平成12年7月28日から第18回定期検査を実施しているが、A-蒸気発生器伝熱管の健全性確認のため、伝熱管全数について渦流探傷検査(ECT)を行っていたところ、隣接する伝熱管3本の高温側管板直上部において、外面からの減肉を示す信号指示が認められた。

このため、8月24日に、当該蒸気発生器二次側の管板上面を小型TVカメラにより点検した結果、信号指示が認められた伝熱管3本の間に板状の異物(約4~5cm四方)が確認された。

[蒸気発生器伝熱管の点検結果]

- ・A-蒸気発生器伝熱管全数(3,382本)の渦流探傷検査(ECT)の結果、減肉信号指示が認められた3本以外に有意な信号指示は認められなかった。
- ・念のため、BおよびC-蒸気発生器全数(計6,764本)についても渦流探傷検査(ECT)を実施した結果、有意な信号指示は認められなかった。
- ・異物取り出し後、減肉信号指示が認められた伝熱管3本について、小型TVカメラにより外面観察を実施した結果、異物との接触による摩耗減肉と推定される傷が認められた。

[異物の調査結果]

①異物の詳細調査

異物について、蒸気発生器内から回収した後、研究施設にて、外観観察、断面組織観察、化学成分分析等の詳細な調査を実施した。

- ・外観観察の結果、表面は黒色のスケールで覆われており、伝熱管や管板部と接触していたと推定される箇所に、金属光沢が認められた。異物は縦約54mm、横約42mm、厚さ約0.3~2.0mmで、皿状に湾曲した形状であった。
- ・断面組織観察の結果、金属組織と酸化物が混合した組織であること、および多数の空洞が存在することが確認された。
- ・金属組織部分の化学成分分析の結果、鉄が主成分であり、その他には、マンガンやケイ素などに加え、炭素鋼の成分より多くの銅が認められた。

[平成12年8月25日、9月1日 一部記者発表済]

②異物の再現試験

今回発見された異物は、その形状や組成等の特徴から、一旦熔融した金属片が再び固まったものであると考えられ、金属の溶断作業や溶接作業による生成物と推定された。このため、それらの作業で生成される金属片を再現し、形状、組織等を調査した。

その結果、炭素鋼をアークエアガウジング工法により溶断した場合、熔融金属が圧縮空気により吹き飛ばされる特徴があり、溶断部近くに鉄板が置かれると、鉄板上で熔融金属が固まり、今回の異物に類似した形状、組織、化学成分の金属片が生成されることが確認できた。

注：アークエアガウジング工法

鋼板と電極との間でアーク放電させ、熔融金属を圧縮空気で吹き飛ばして金属を切断（溶断）する方法。この電極には銅をコーティングしたものを使用している。

③異物の発生・混入の調査

異物が発生・混入した可能性がある蒸気発生器取替工事（平成9年2月終了）以降の二次側給水系統の工事作業を調査した。

その結果、前回（第17回）定期検査で主給水制御弁取替工事を行っており、その際アークエアガウジング工法による配管の溶断作業を実施していた。この溶断作業において、熔融金属の飛散防止用鉄板が使用されていた。

この作業以外では、アークエアガウジング工法を採用していないことを確認した。

このため、主給水制御弁取替工事の作業状況を調査した結果、

- ・ 今回の主給水制御弁取替工事は、同弁の信頼性向上として実施したもの。
- ・ 弁の取替工事に伴い、配管切断作業を実施したが、作業場所に余裕がないことからアークエアガウジング工法を採用した。また、切断部周囲の系統機器を保護するため、耐火クロスとともに飛散防止用鉄板を使用した。
- ・ アークエアガウジング切断により発生した生成物（熔融金属等）は、耐火クロスに包み、一時保管し、新しい主給水制御弁や配管の取り付け作業前に作業現場から当該部近傍の仮設足場上を通して搬出した。
- ・ 新弁や配管の取り付け（溶接）作業前には、配管内に異物がないことを最終確認した後溶接作業を行っている。今回の作業では、配管内の最終異物確認（異物がないこと）後、溶接作業（3箇所）を順次実施しており、その間、新弁や配管の開口部（今後溶接する箇所）は養生がされていなかった。

以上のことから、今回発見された異物は、前回定期検査時の主給水制御弁の取替工事において、溶断作業に伴い発生した金属片が仮設足場上に落下するなどし、新主給水制御弁や配管の取り付け作業中に誤って仮設足場の下方にあった配管内に混入したものと推定された。

〔その他の点検結果〕

- ・ 全ての蒸気発生器（3基）の管板上面について、小型TVカメラにより全面を点検した結果、異物等は確認されなかった。
- ・ また、高圧給水加熱器から蒸気発生器内までの主給水系統設備のうち、異

物の滞留する可能性のある箇所についても、小型TVカメラによる点検をした結果、異物等は確認されなかった。

[推定原因]

①蒸気発生器伝熱管の損傷原因

A－蒸気発生器伝熱管3本で確認された外面減肉の原因は、今回確認された異物が当該伝熱管に接触し、水の流れて振動したことにより摩耗が生じたものと推定された。

②異物が混入した原因

前回（第17回）定期検査時に主給水制御弁取替工事において配管の溶断作業（アークエアガウジング工法）に伴い生成された金属片が、その後の作業過程において異物管理が不十分であったために主給水配管内に混入し、給水系統の運転において蒸気発生器内に流入したものと推定された。

[対策]

①減肉信号指示が認められた伝熱管3本については施栓し、使用しないこととした。

②作業時における配管内等への異物混入の防止を徹底するため、以下の事項について作業要領書に明記するとともに、社内や協力会社に対し、異物管理の重要性などとあわせ、周知徹底を図ることとした。

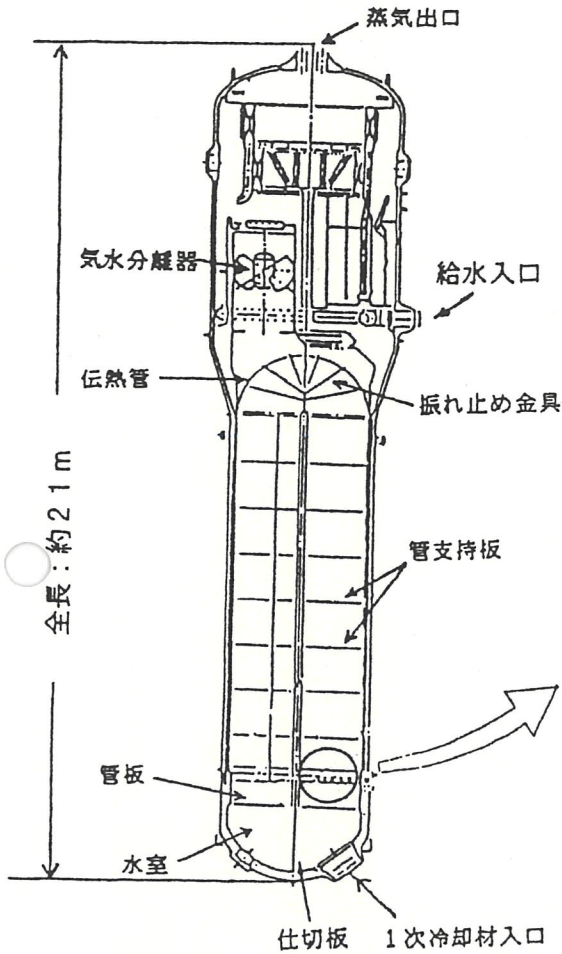
- ・異物管理責任者は、不必要に養生されていない開口部ができないよう適切に管理するとともに、異物の最終確認を行った後は、開口部が完全に閉止するまで連続的に監視する。
- ・機器の開放作業においては、開口部と通路等の区画養生を確実に行う。
- ・最終の異物確認に際しては、作業対象機器の異物確認だけでなく、開口部周辺の不要資材、廃材等の撤去など、清掃が確実にされていることを十分に確認する。

（通商産業省によるINESの暫定評価尺度）

基準1	基準2	基準3	評価レベル
－	－	0－	0－

A 蒸気発生器伝熱管の E C T 信号指示管状況図

蒸気発生器概略図

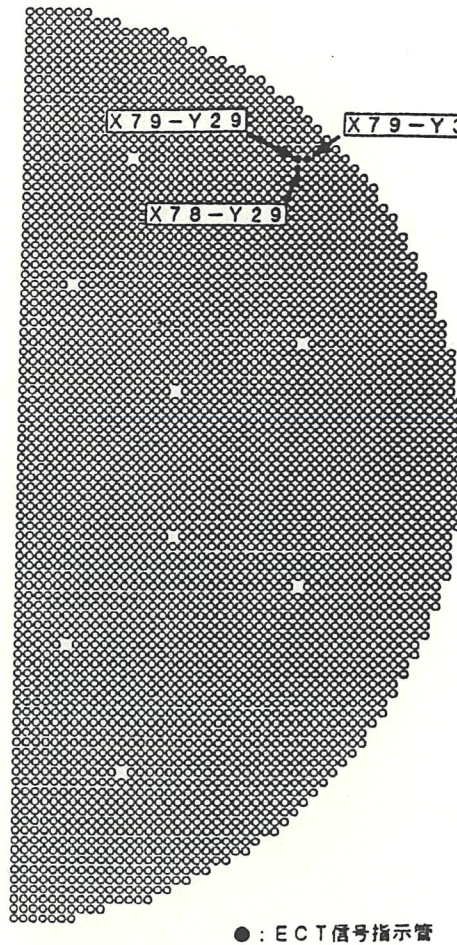


伝熱管外径：約22.2mm
伝熱管厚さ：約1.3mm
伝熱管材料：TT690合金
(特殊熱処理材)

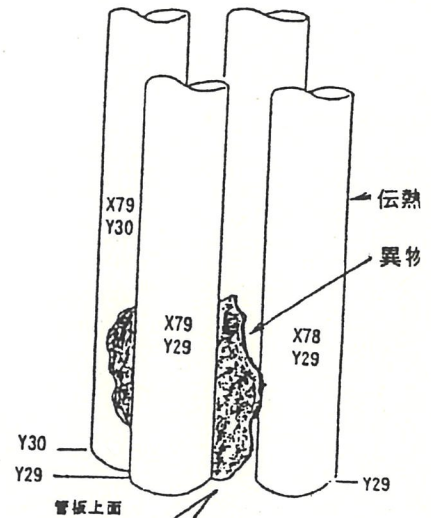
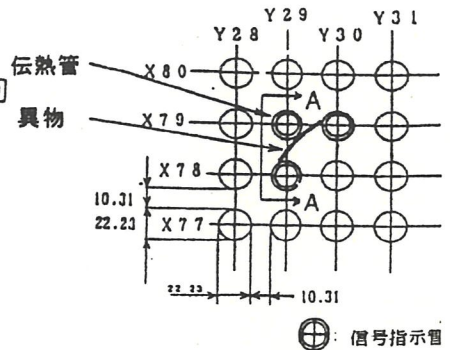
蒸気発生器伝熱管信号指示本数および疵状状況

	A-蒸気発生器	B-蒸気発生器	C-蒸気発生器	合計
検査対象本数	3,382	3,382	3,382	10,146
指示本数	3	0	0	3
既済検査本数	0	0	0	0

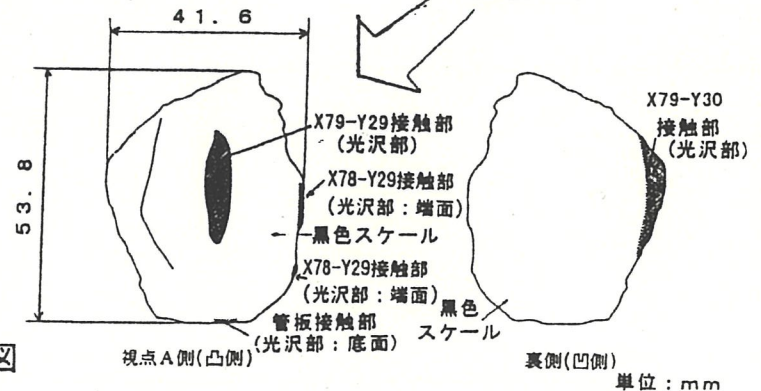
E C T 信号指示部



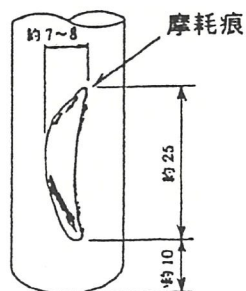
異物状況図



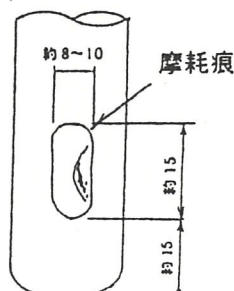
視点A-A



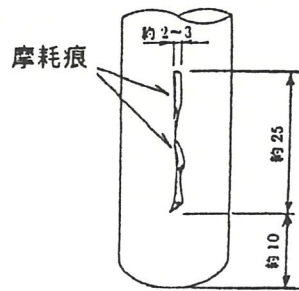
信号指示が認められた伝熱管状況図



X79-Y30の伝熱管



X79-Y29の伝熱管



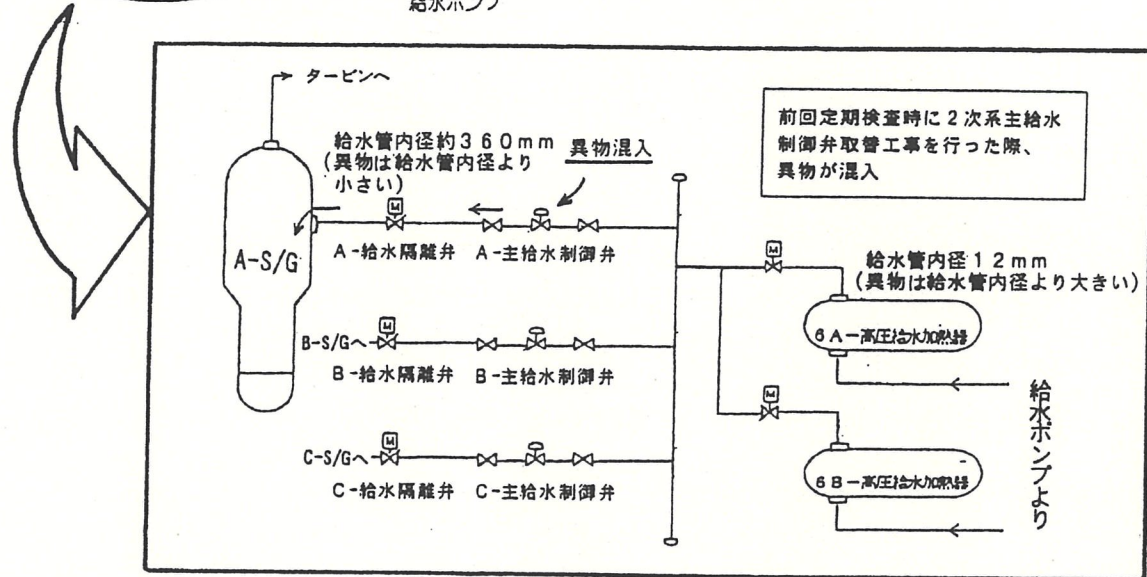
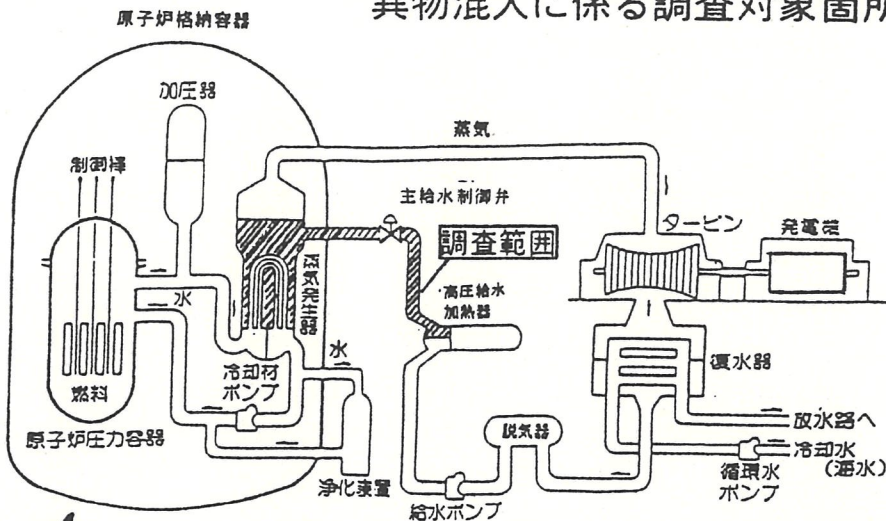
X78-Y29の伝熱管

単位：mm

E C T 結果

伝熱管	減肉深さ
X79-Y30	2.5%外面減肉
X79-Y29	2.6%外面減肉
X78-Y29	4.8%外面減肉

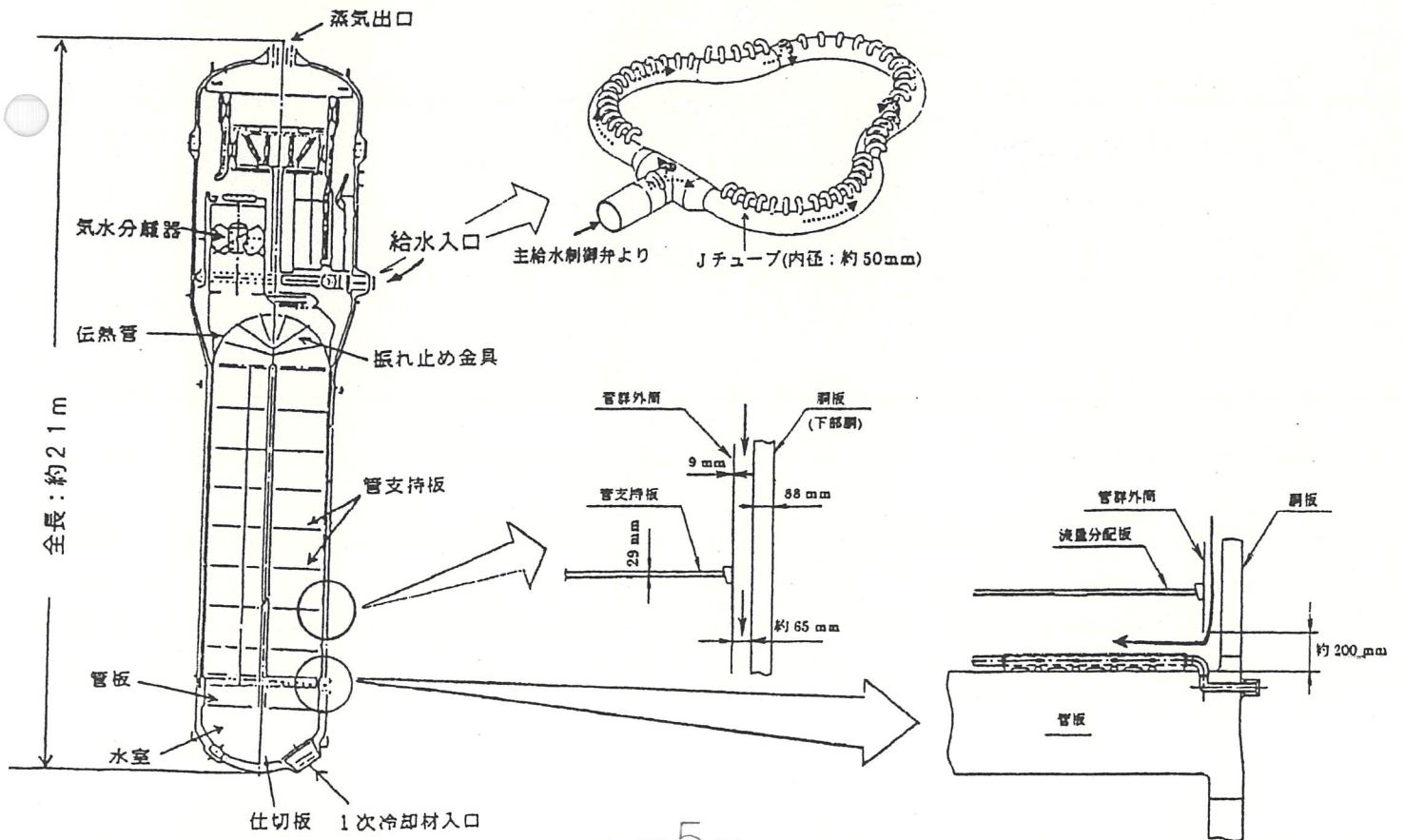
異物混入に係る調査対象箇所図



蒸気発生器内流入経路

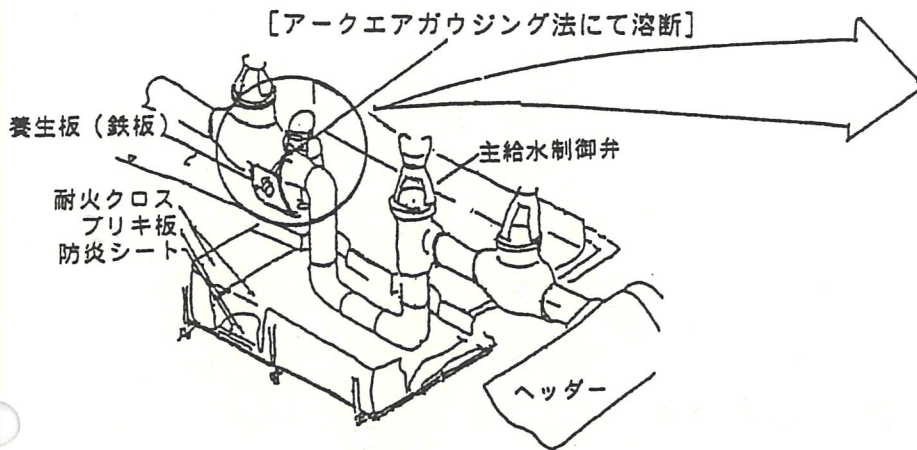
蒸気発生器概略図

給水リング(内径: 約250mm)



異物生成～混入状況の推定

作業状況



異物生成

アークエア
ガウジング法

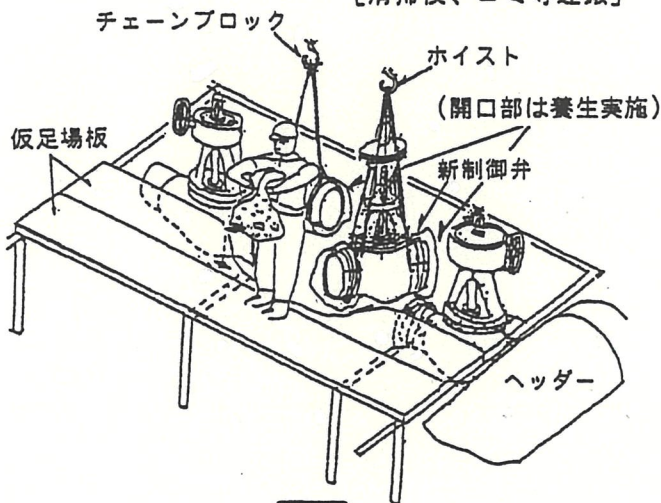


アークエアガウジングにより飛散した
2次生成物が養生板にぶつかり、冷却
されて板状に固化したと推定される。

(アークエアガウジング法とは)

炭素棒の銅コーティングしたものを電極として使用し、電極と母材間でアークを発生させて金属を溶融するとともに、この溶融金属をトーチ（ホルダ）の孔から噴出する圧縮空気で吹き飛ばす溶断方法。

[清掃後、ゴミ等運搬]



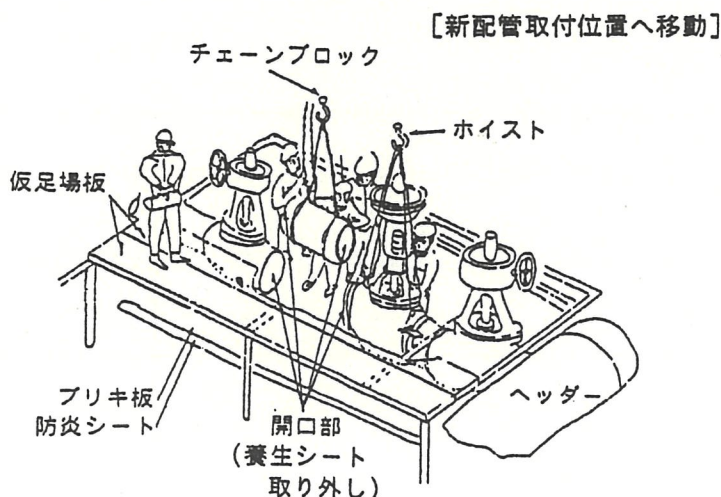
異物混入の推定

配管溶断作業において、アークエアガウジングによる2次生成物が発生

配管溶断作業後の後片付け、清掃、ゴミ運搬後において、2次生成物が現場に残存

2次生成物が配管接続前に配管内に混入

運転に伴い、主給水管から蒸気発生器に移動



関西電力（株）美浜発電所3号機の 定期検査中に発見されたトラブルの 原因と対策について (蒸気発生器伝熱管の損傷)

平成12年9月18日
資源エネルギー庁

1. 平成12年9月1日の発表内容

関西電力(株)美浜発電所3号機(加圧水型、定格出力82.6万キロワット)は、平成12年7月28日から定期検査を実施中であるが、3基ある蒸気発生器のうち、1基(A-蒸気発生器)の伝熱管全数(3,382本)の渦流探傷検査(ECT)を実施したところ、3本の伝熱管において、高温側(1次冷却材入口側)管板直上部に欠陥が生じていることを示す信号が認められた。

このため、蒸気発生器2次側の管板上面を小型テレビカメラにより点検したところ、当該伝熱管3本の間に板状の異物が確認され、また、異物が接触していたと考えられる部分に摩耗と思われる傷が認められた。異物を取り出し、分析調査を行った結果、異物は金属溶断作業の際に生じる生成物の可能性が高いと考えられる。

2. 原因と対策

調査の結果、3本の伝熱管の損傷は外面減肉であり、発見された異物と伝熱管との摩耗形状及び位置が一致したこと等から、異物との接触による損傷であると考えられる。また、異物は溶融後に急冷された金属組織を呈しており、その成分は鉄が主体の炭素鋼と同等であるが、通常炭素鋼の成分より多くの銅が検出されたこと等から、銅コーティングされた電極を使用した金属溶断作業(アークエアガウジング法)の際に生じる2次生成物と考えられる。

さらに、異物混入の可能性のある工事について調査したところ、前回定期検査において実施した主給水制御弁取替工事において、アークエアガウジング法による溶断作業を実施していることから、この際発生した2次生成物が主給水管内に混入した可能性が高く、蒸気発生器2次側に流入後、当該伝熱管に接触し、流体振動により摩耗が生じたものと推定される。

なお、異物が滞留している可能性のある配管等について調査を行ったところ、異物や破損等の異常は認められなかった。また他の蒸気発生器2機の伝熱管全数についてもECTを実施した結果、有意な信号指示は認められなかった。

対策としては、有意な信号指示の認められた伝熱管3本を施栓することとした。また、異物混入防止に関する管理の強化として、機器の開放作業における開口部と通路等の区画を確実に実施し、異物の混入を防止するとともに、異物管理責任者は最終の異物確認終了後、開口部が完全に閉止するまでの間、連続的に監視する等、作業時における異物混入防止対策を再徹底することとし、これらの点を作業要領書等に明記することとした。

(注) アークエアガウジング法

アーク放電により金属を溶融させ、圧縮空気により溶融金属を吹き飛ばす溶断方法

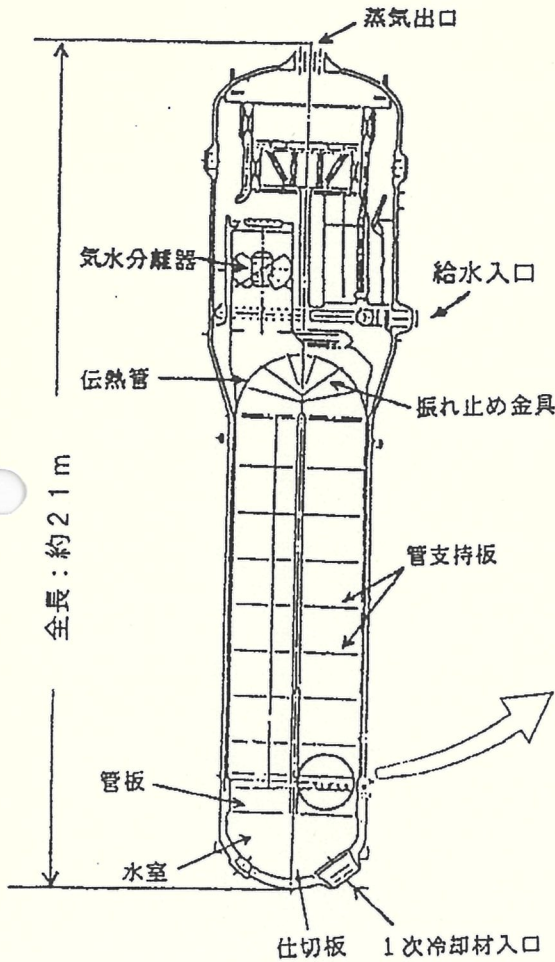
(INESにおける暫定評価)

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	0—	0—

問合せ先：原子力発電運転管理室
内線3807 直通3501-1739

A 蒸気発生器伝熱管の E C T 信号指示管状況図

蒸気発生器概略図

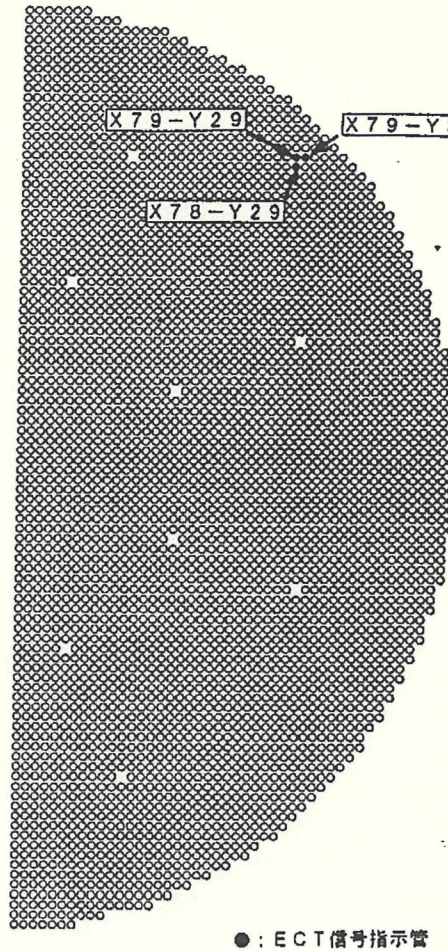


伝熱管外径：約22.2mm
 伝熱管厚さ：約1.3mm
 伝熱管材料：TT690合金
 (特殊熱処理材)

蒸気発生器伝熱管信号指示本数および無検状況

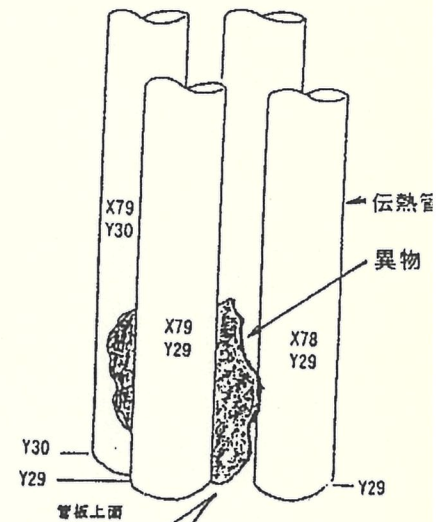
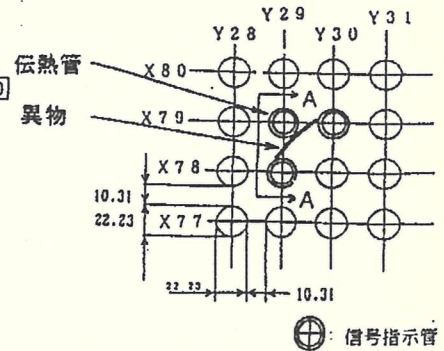
	A-蒸気発生器	B-蒸気発生器	C-蒸気発生器	合 計
検査対象本数	3,382	3,382	3,382	10,146
指示本数	3	0	0	3
既無検査本数	0	0	0	0

E C T 信号指示部

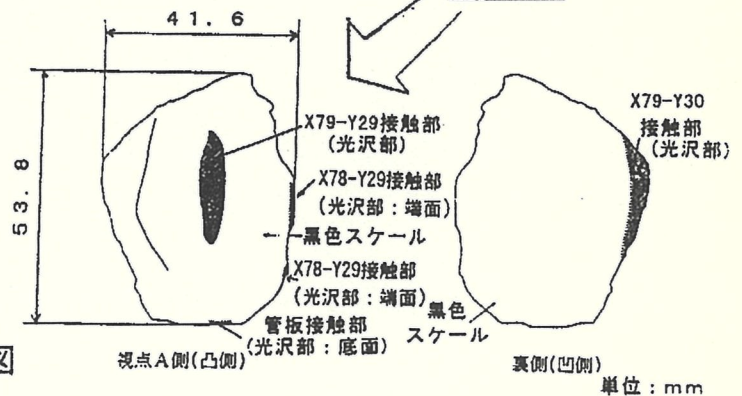


注：本図は蒸気発生器上部から見た位置を表す

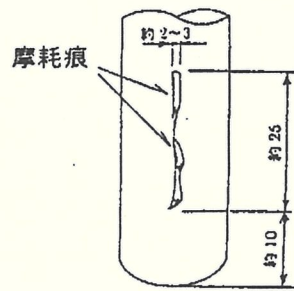
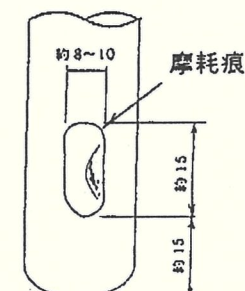
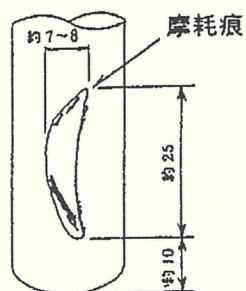
異物状況図



視点A-A



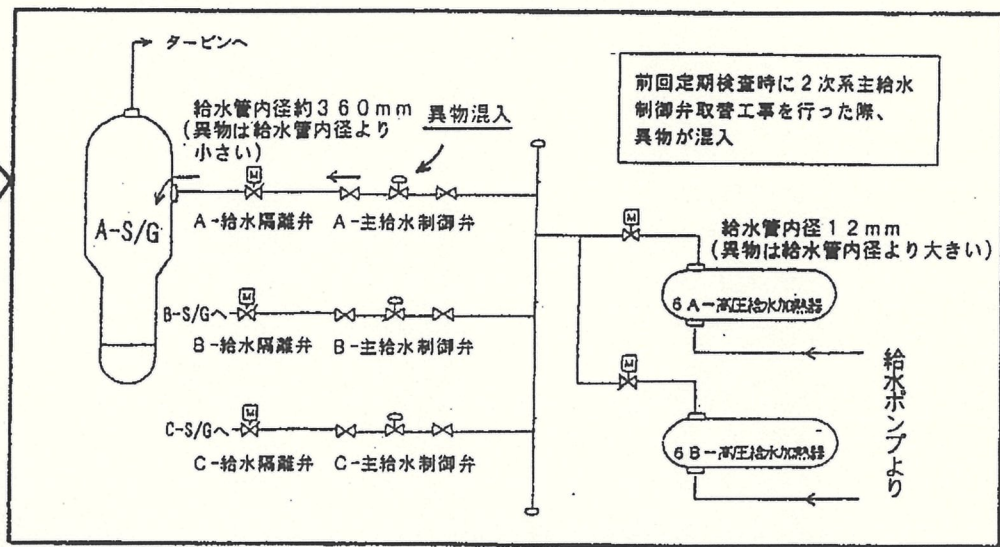
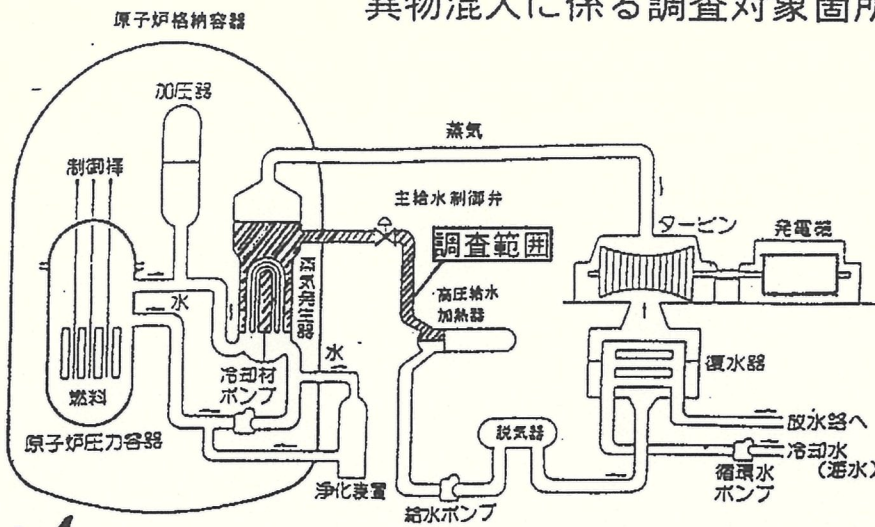
信号指示が認められた伝熱管状況図



E C T 結果

伝熱管	減肉深さ
X79-Y30	2.5%外面減肉
X79-Y29	2.6%外面減肉
X78-Y29	4.8%外面減肉

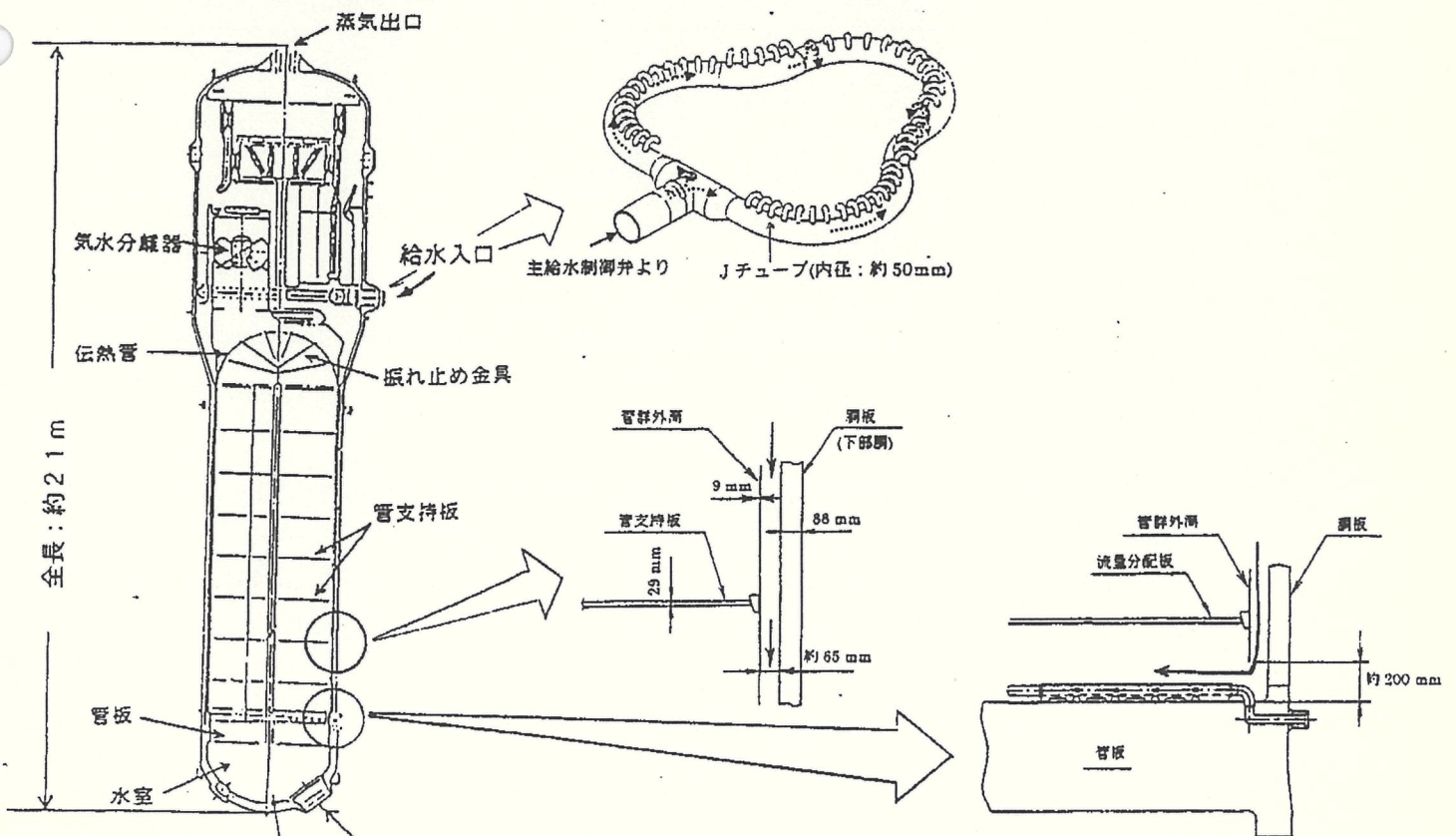
異物混入に係る調査対象箇所図



蒸気発生器内流入経路

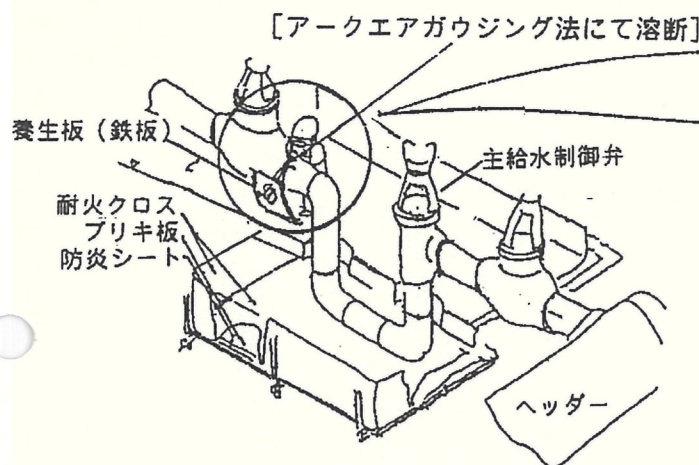
蒸気発生器概略図

給水リング(内径: 約250mm)



異物生成～混入状況の推定

作業状況



異物生成

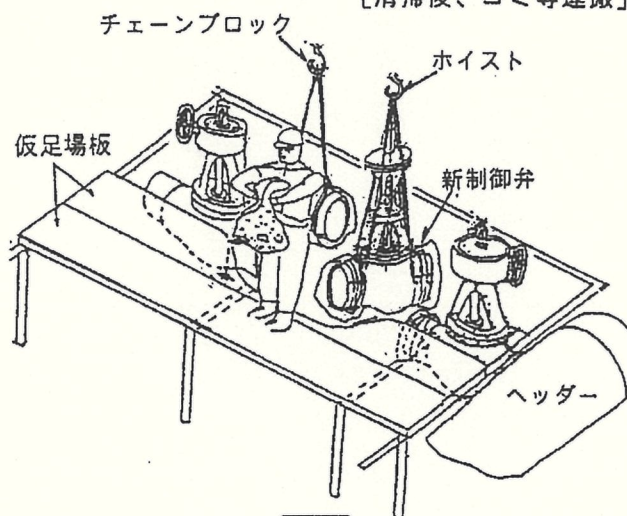


アークエアガウジングにより飛散した2次生成物が養生板にぶつかり、冷却されて板状に固化したと推定される。

(アークエアガウジング法とは)

炭素棒の銅コーティングしたものを電極として使用し、電極と母材間でアークを発生させて金属を溶融するとともに、この溶融金属をトーチ（ホルダ）の孔から噴出する圧縮空気で吹き飛ばす溶断方法。

[清掃後、ゴミ等運搬]



異物混入の推定

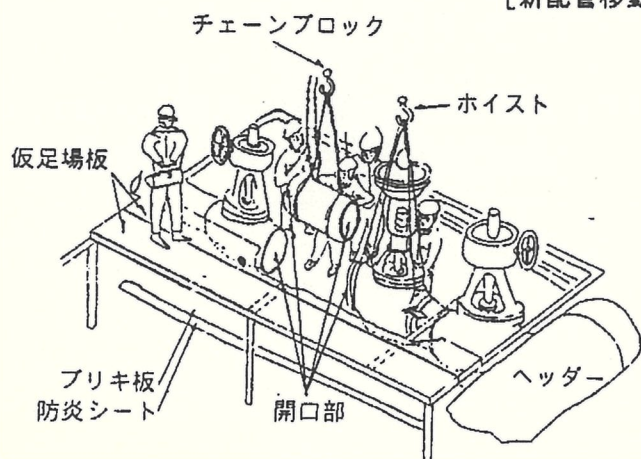
配管溶断作業において、アークエアガウジングによる2次生成物が発生

配管溶断作業後の後片付け、清掃、ゴミ運搬後において、2次生成物が現場に残存

2次生成物が配管接続前に配管内に混入

運転に伴い、主給水管から蒸気発生器に移動

[新配管移動]





原第 413 号
平成12年9月18日

関西電力株式会社若狭支社
支社長 梶井孝泉 殿

福井県県民生活部長
市橋 一義

定期検査における安全管理の徹底について

原子力に対する県民の信頼を確保するためには、事故の発生を未然に防止し、原子力発電所の安全で安定な運転を継続することが最も重要である。

このためには、法律に基づく定期検査、施設設置者が自主保安管理として行う点検や計画作業等が、厳しい品質管理、保守管理、さらには徹底した安全管理のもとで、確実に実施されることが必要である。

県は、これまで事故の未然防止として、定期検査時におけるヒューマンエラーが原因となった事故等を貴重な教訓として、原子力発電所に従事する全社員の教育を徹底するなど、ヒューマンエラーの発生を防止するよう再三要請してきた。

昨年6月、関西電力株式会社美浜3号機の定期検査時に主蒸気配管内での水撃作用による異常事象が発生し、その原因が運転員相互での連絡・確認行為の不徹底によるものであったことから、貴社に対し、ヒューマンエラーの発生防止に向けた取組みを求め、総力を挙げて再発防止に取り組むとの回答を受けたところである。

しかしながら、最近、発電所の定期検査作業において、作業手順や状態確認等の基本動作の不徹底による事故等が続いていることは、誠に遺憾である。

県としては、この事態を重く受け止め、貴社に対し、作業管理や運転管理等の基本を忠実に守り、作業に当たっての安全意識の向上に努めるとともに、過去の事例を貴重な教訓とした社員教育の再徹底を行うなど、ヒューマンエラーの発生を徹底的に防止するよう強く申し入れる。

「定期検査における安全管理の徹底」の申し入れについて

平成12年9月18日

原子力安全対策課

1. 概要

- 県としてはこれまで、ヒューマンエラーの発生防止について再三要請してきたところである。最近では、昨年6月、美浜発電所3号機の定期検査時に起きた主蒸気管配管内での水撃作用による異常事象において、原因が運転員相互の連絡・確認行為の不徹底によるものであったことから、ヒューマンエラーの防止について関西電力㈱に対して申し入れを行い、関西電力㈱から総力を挙げて再発防止に取り組むとの回答を受けたところである。
- しかしながら、今夏、定期検査時の作業管理等に起因したトラブルや労働災害が続いて発生していることから、9月18日(月)14時に、ヒューマンエラーの発生防止を含め定期検査における安全管理の徹底について、関西電力㈱に対して強く申し入れを行うこととした。

<最近の事例>

○大飯発電所1号機

- ・ 8月13日 「燃料取出作業の一時中断」(8月23日記者発表済)
燃料取り出し作業時の確認不足により、燃料つかみ装置と燃料集合体の上部とが干渉し、燃料取出作業が一時中断した。
- ・ 9月2日 「原子炉補助建屋内における作業員の負傷」(9月5日記者発表済)
重量物(原子炉冷却材ポンプモータ搬出用架台)吊り上げ時の安全管理の不備により、管理区域内で作業員の労働災害が発生した。

○美浜発電所3号機

- ・ 8月24日 「蒸気発生器伝熱管の異物による損傷」(8月25日記者発表済)
前回定期検査作業時の異物管理の不徹底により、蒸気発生器内に異物が混入し、伝熱管を摩耗減肉した。

(安全協定に基づく異常時対象外)

- ・ 9月11日 「蓄圧注入タンク水の漏えい」
蓄圧注入タンクの漏えい試験の際、同タンクに設置していた仮設水位計(ビニールホース)から格納容器内に約400ℓの水が漏えいした。原因は、漏えい試験に係る作業手順書では試験開始前には仮設水位計の元弁を閉止すると規定されていたが、作業手順書を守らず、当該弁の閉止操作を実施しなかったためである。
今回、漏れた水の放射能濃度は低く、漏えい量も少ないことから、安全協定に基づく異常事象には該当しないものと判断。