

大飯発電所 2 号機の原子炉手動停止と復水器海水漏えいについて
(原子炉手動停止および海水漏えいの原因調査結果)

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

大飯発電所 2 号機（加圧水型軽水炉；定格出力117.5万kW）は、定格出力で運転中
ところ、2月14日朝、検塩計の指示値が上昇し警報設定値（ $0.3\mu\text{S}/\text{cm}$ ）を超えた
ことから、復水器内での海水漏えいと判断し、14日14時00分より出力降下を開始、
16時00分に電気出力60%として、復水器伝熱管等の点検・補修作業を開始した。こ
の事象による環境への放射能の影響はない。

[平成12年 2 月 14 日記者発表済]

復水器伝熱管等の点検・補修作業を実施中のところ、2月19日10時35分頃から復
水器の真空度が低下しているのを運転員が確認し、監視強化を行っていたが、低下
傾向が続いたため、10時46分から出力降下を開始した。中央制御室内の監視画面
（CRT）を監視していた運転員は、10時49分、復水器の真空度が約580mmHgまで低
下したと判断し、当直課長も確認し、タービン保護のためタービンを手動で緊急停
止させ、これにより原子炉も自動停止した。この事象による環境への放射能の影響
はない。

今回の運転操作では、「復水器真空 低（650mmHg）」の警報は発信しておらず、
監視画面を見た際、復水器の真空度と発電機出力との指示を見間違えたものと推定
された。

[2月19日記者発表済]

1. 原子炉手動停止の原因と対策について

(図-1、2 参照)

1-1. 調査結果

今回の原子炉手動停止に至るまでの運転操作について調査した結果、以下の事実
が判明した。

- ・ 2月19日10時35分頃から、わずかな真空度低下が確認されたため、運転員は
CRTで復水器の真空度を監視していた。
- ・ このCRT画面には、復水器真空度と発電機出力が並列に表示されていた。
10時35分の復水器真空度は730.6mmHg、発電機出力は704.2MWeであった。
- ・ 10時46分には復水器真空度が約727mmHgまで徐々に低下してきたことから、
CRTを監視していた運転員は、構内通信設備にて補機員に復水器の点検を

指示した。その後ＣＲＴ画面を見た際、発電機出力(700MWe)のデジタル表示値を復水器真空度（実際は約727mmHg）と見誤り、当直課長も同様の誤認し、発電機負荷降下操作を指示した。

- ・運転員の誤認はその後も続き、10時49分、復水器の真空度が発電機出力値（580MWe→mmHg）まで低下したものと誤認し、当直課長も真空の維持が困難と誤って判断し、タービンの緊急手動停止操作を行った。

1－2 原因

今回の運転では、発電機出力を60％（約706MWe）として復水器の点検作業を行っており、その状態で復水器の真空度がわずかに低下する事象が発生した。運転員は関連パラメータの確認を行ったが、点検作業による復水器への空気の漏れ込みの可能性も想定した。このことが背景となって、その後の運転監視において、運転員がＣＲＴ監視画面上で隣り合わせになっていた復水器真空度と発電機出力の表示値を見誤った後は、当直課長もこれを追認し、出力降下の過程においても、その誤認が修正されなかったため、タービンの緊急手動停止操作を行ったことが判明した。

1－3 対策

今回の原因は、当直課長を含む運転員の監視画面指示値の誤認であり、それが修正されなかったことから、全運転直員に対して、運転監視、直内連携の重要性などの基本動作について再教育を行うこととした。

また、今回のヒューマンエラーを教訓として、直全体の行動について分析を行い、教育メニュー等の充実を図り、運転訓練センターでの訓練等に反映する。

（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－

1－4 復水器の真空度が低下した原因

（図－3 参照）

復水器の真空度がわずかに低下した原因について、復水器点検作業の実績や真空維持のための真空ポンプ等の性能や機器の分解点検を実施した。

その結果、Ｂ－復水器真空ポンプのエゼクタノズルに設置されている凍結防止用ヒータのコイル断線が認められ、これにより真空度がわずかに低下したものと推定された。当該ヒータを新品と取替える等の対策を実施することとした。

2. 復水器の点検結果について

（図－1、4 参照）

2－1 調査結果

復水器内に海水が漏えいしていると考えられた復水器１Ｂおよび３Ｂ水室の伝熱管全数（既施栓管を除く）について、漏えい検査を実施したところ、１Ｂ水室の伝熱管２本に漏えいが確認された。漏えい管については、渦流探傷検査（ＥＣＴ）でも貫通を示す内面減肉指示が認められ、管内面をファイバースコープにより観察した結果、管内の表面部に減肉と思われる箇所がみられた。

当該管 2 本を除く 1 B、3 B 水室の伝熱管全数の E C T の結果、伝熱管 244 本（1B 水室：229 本、3B 水室：15 本）に施栓基準に達する減肉信号指示が認められた。

2-2 推定原因

今回漏えいが認められた伝熱管（1 B 水室 2 本）は、前回定期検査時に取替えた保護被膜形成管であり、1 B 水室伝熱管の E C T 検査で施栓基準に達した伝熱管 231 本のうち、171 本が保護被膜形成管であった。これらの伝熱管の E C T 検査では、伝熱管全長の複数箇所では減肉指示が認められていることから、取り替え後これまでの運転において、伝熱管内面にある保護被膜が複数箇所ではなく離し、伝熱管内の海水の流れに乱れが生じて伝熱管を減肉（貫通）したものと推定される。

それ以外の通常の伝熱管では、微少な海生生物が伝熱管内面に付着する等により、わずかに減肉したものと推定される。

保護皮膜形成管で減肉が発生した原因については、次回定期検査（本年 3 月中旬予定）で保護皮膜形成管他（通常の伝熱管も含む）を抜き取り、詳細に調査することとした。

保護被膜形成管：伝熱管（通常使用している伝熱管と同一材料）の内面に、海水の腐食を予防するため、あらかじめ薄い鉄皮膜を形成させた銅合金管

2-3 対策

対策として、漏えい管 2 本と、E C T 検査で施栓基準に達した伝熱管 244 本について施栓するとともに、予防保全として前回定期検査で取り替えた保護皮膜形成管（今回の E C T 検査では施栓基準には達していない）191 本も施栓することとした。

なお、施栓工事を行ない、漏えいのないことを確認した後、2 月 27 日夜から原子炉を起動し、3 月 1 日未明に定格出力に復帰する予定である。

（通商産業省による I N E S の暫定評価尺度）

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
評価対象外			評価対象外

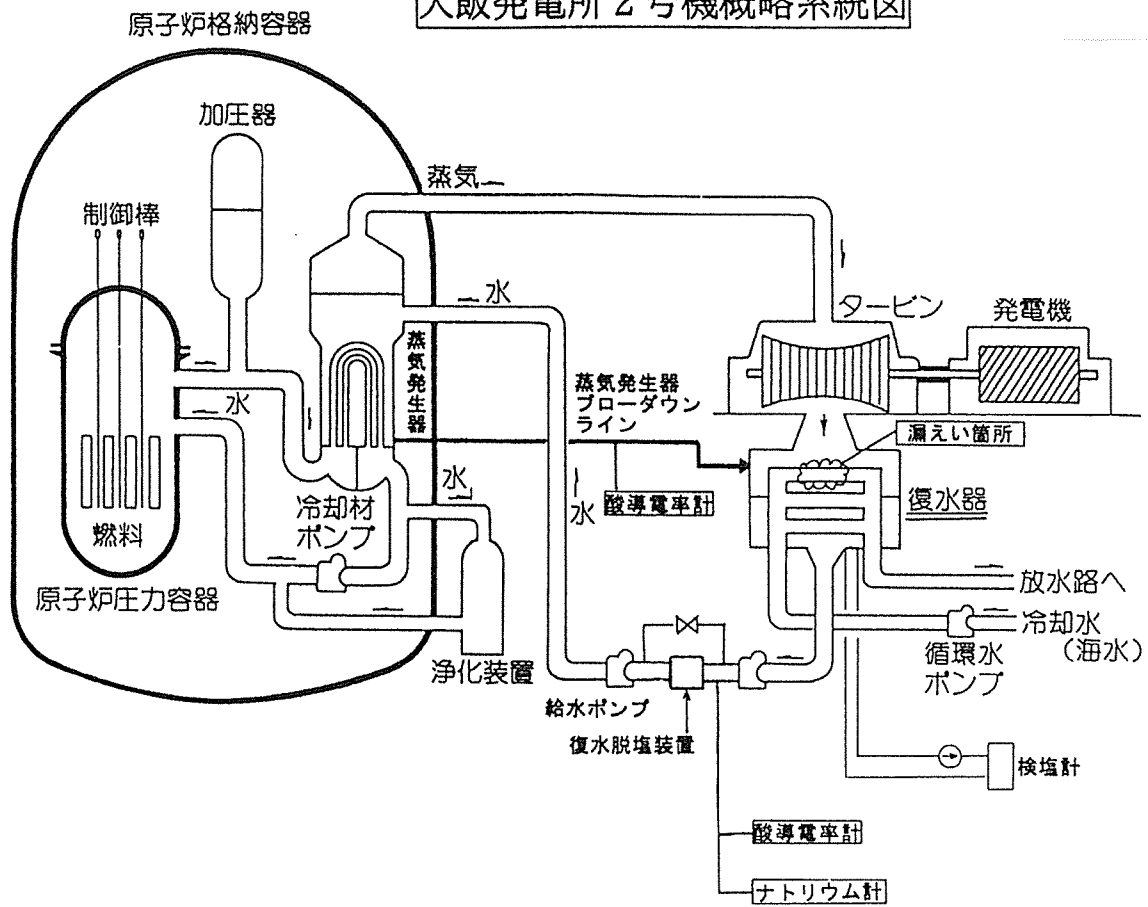
表．復水器伝熱管の施栓状況

機器名	伝熱管設備数	施栓基準超過数	今回の施栓数	累積施栓数
1 B－復水器	14,362 本	231 本 (保護被膜形成管 171 本を含む)	269 本 (保護被膜形成管 全数 209 本を含む)	308 本
3 B－復水器	14,362 本	15 本	15 本	125 本

機器名	伝熱管設備数	施栓基準超過数	今回の施栓数	累積施栓数
1 A－復水器	14,362 本	今回、ECT は実施していない	153 本 (保護被膜形成管全数)	190 本

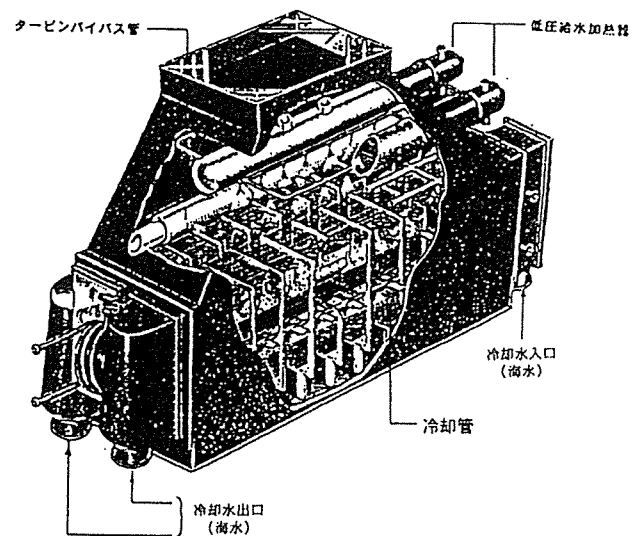
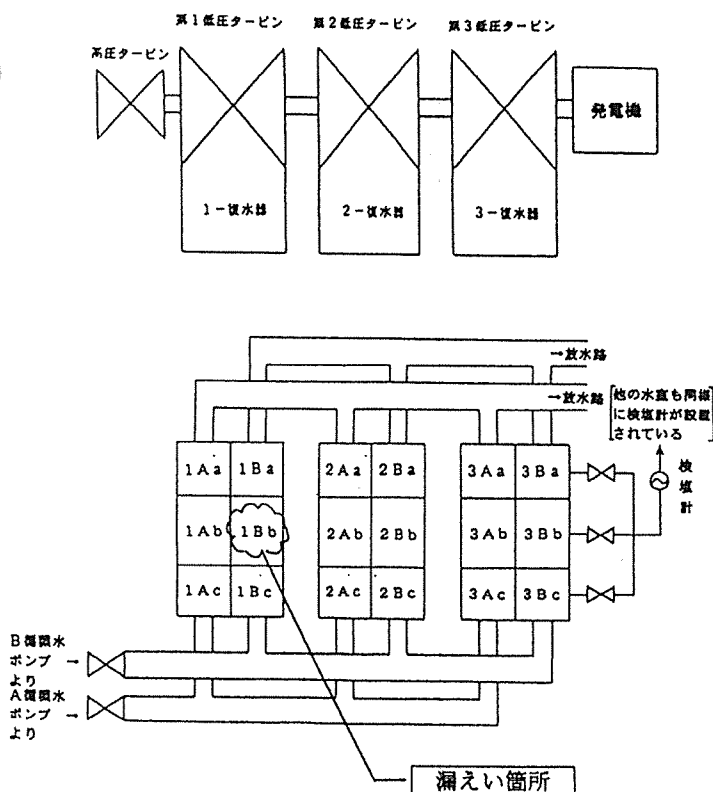
（注）施栓基準；渦流探傷検査の指示値が 70% 以上の伝熱管および次サイクルの運転を考慮したときに次サイクル終了時点で渦流探傷検査の指示値が 70% 以上と推定される伝熱管については施栓することとなっている。

大飯発電所 2 号機概略系統図



復水器概要図

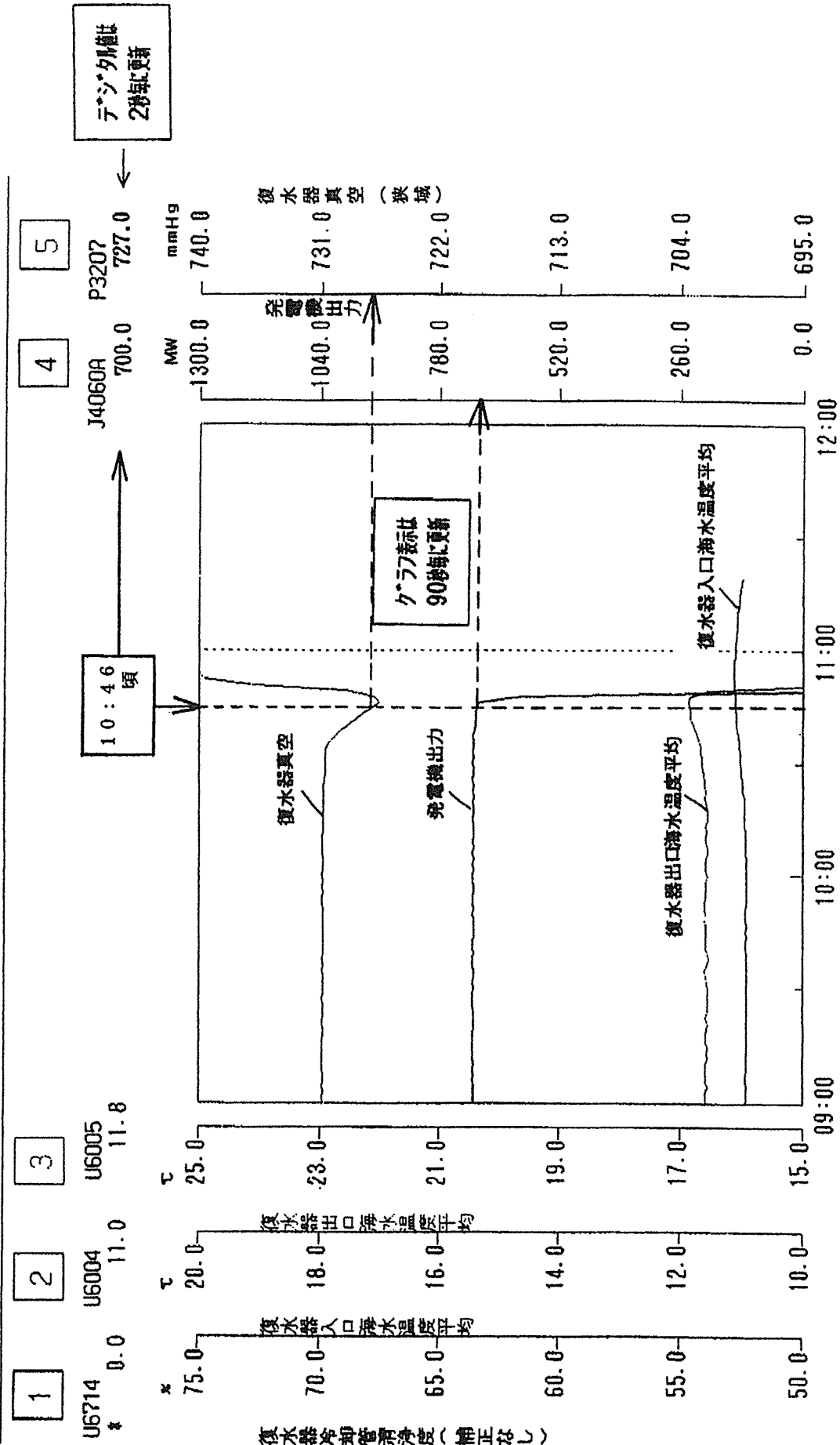
復水器設備仕様および概要図



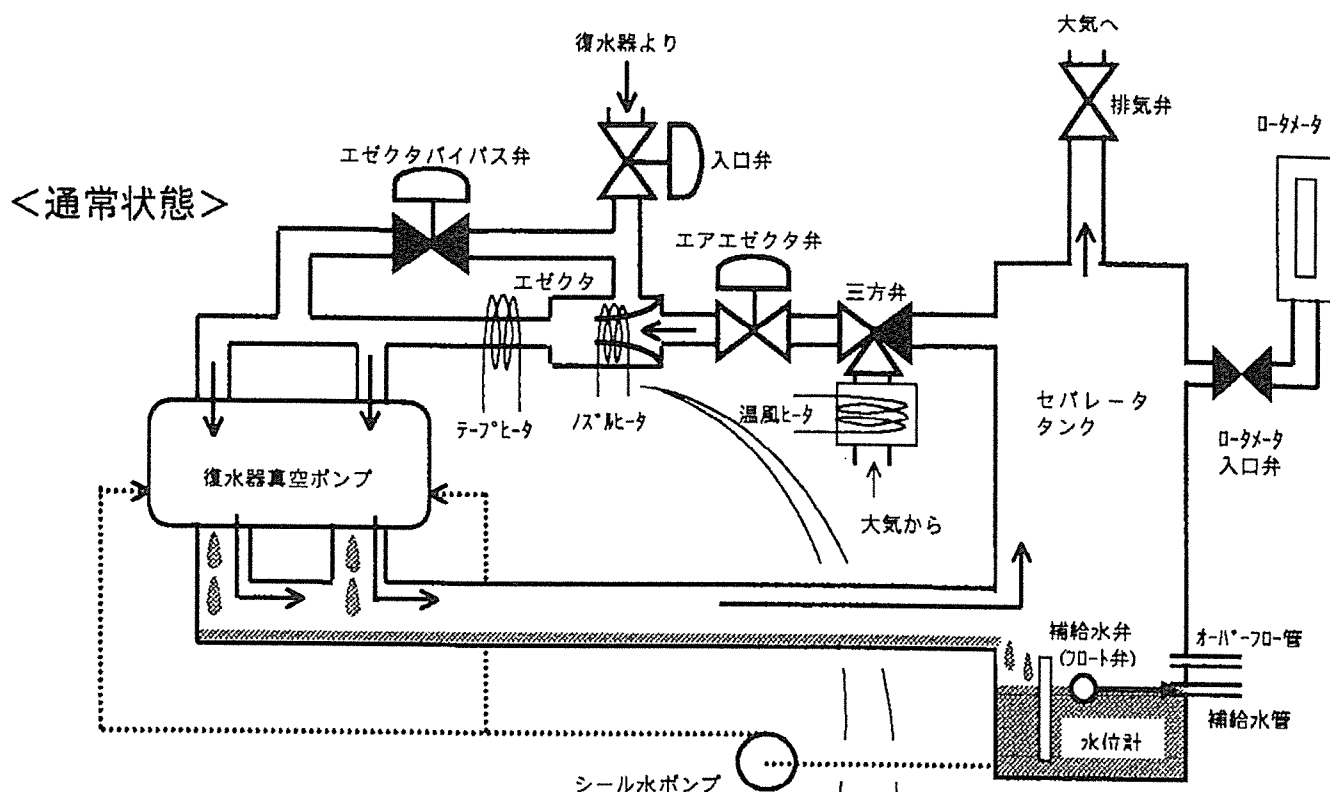
[設備仕様]	設備数量	3台
	型式	表面冷却式単流半区分3胴平行流型
	本体材質	炭素鋼
	冷却管外径	25.4mm
	冷却管厚さ	1.245mm
	管板間距離	15.24m
	冷却管総数	86.172本/6水室
	冷却管材質	黄銅管

運転監視画面

大板2号機 TGL2-068



復水器真空ポンプの性能低下メカニズム

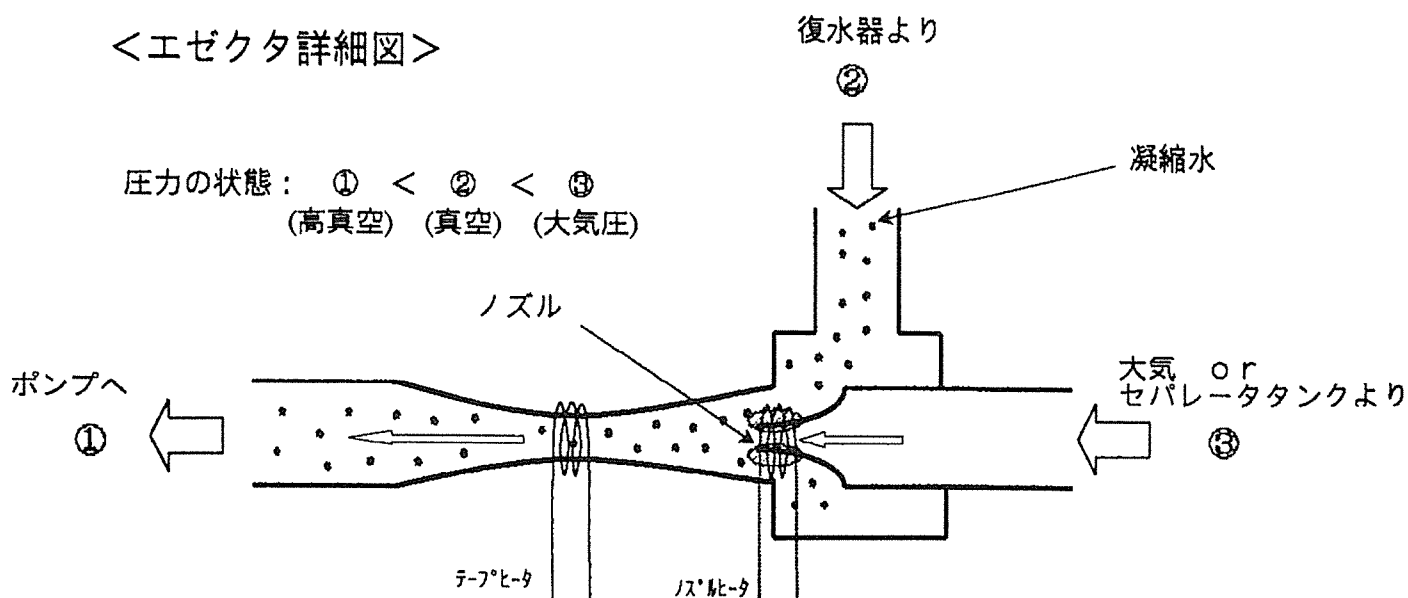


注) ノズルヒータの機能

エゼクタ部は流れる空気の減圧膨張により温度が低下しており、さらに冬場になると外気温が低下することから凍結しやすい状態になる。

このためヒータにより復水器からの凝縮水を含んだ空気を暖めて凍結を防止している。

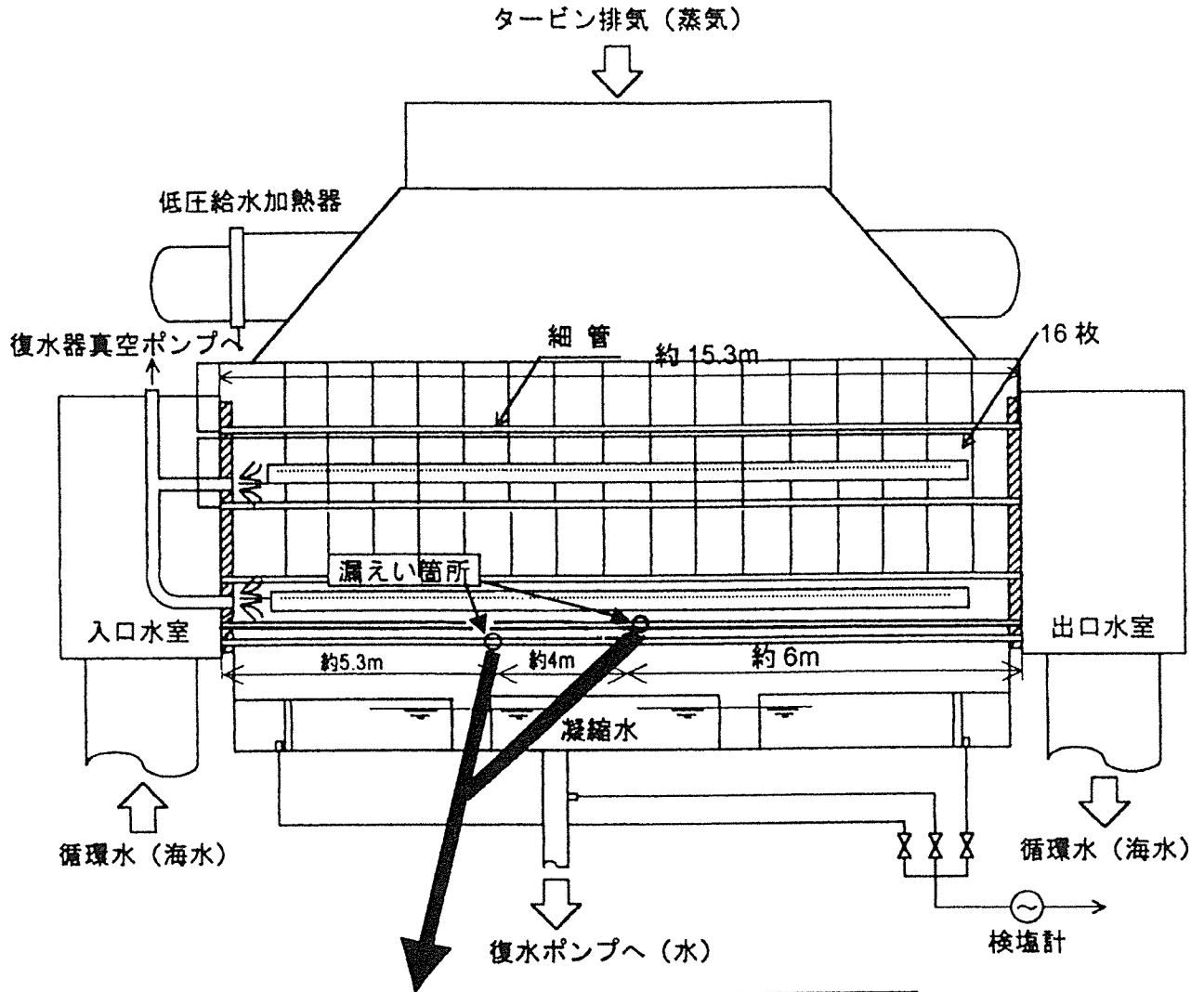
<エゼクタ詳細図>



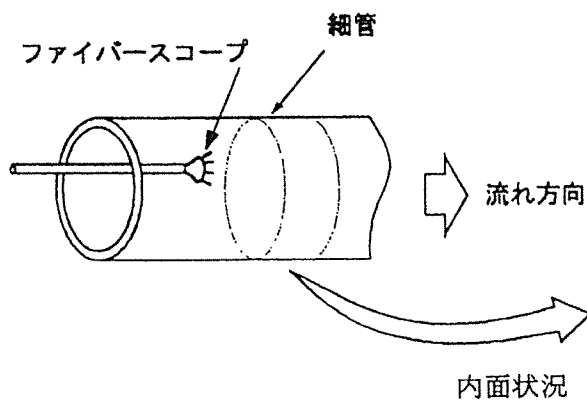
Bー復水器真空ポンプのノズルヒータ不良によりノズル部が凍結し、流路穴が小さくなることにより性能が低下した。

復水器細管漏えい位置図

図 - 4

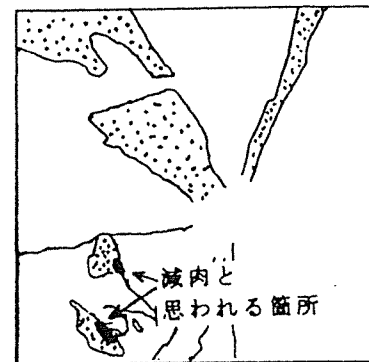


漏えい細管内面調査結果

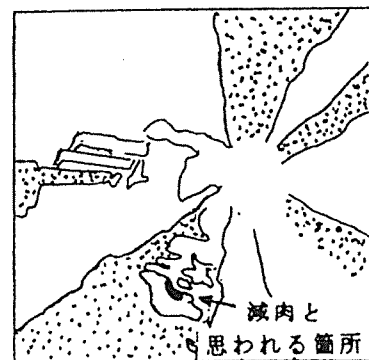


保護皮膜形成管の仕様

- ・材質…黄銅管
- ・寸法…外径25.4mm、厚さ1.245mm、長さ15.24m
- ・内面皮膜…水酸化鉄



皮膜がはがれて
いる箇所



関西電力（株）大飯発電所2号機の手動停止の原因と対策について

平成12年2月25日
資源エネルギー庁

1. 平成12年2月21日の発表内容

関西電力(株)大飯発電所2号機（加圧水型、定格出力117万5千キロワット）は、復水器への海水の漏れ込みのため、2月14日から電気出力を約60%（約70万5千キロワット）に降下し、復水器細管等の点検を実施していたところ、19日10時35分頃から復水器の真空度が低下しているのが確認されたため、10時46分から出力降下を開始し、その後、10時49分、復水器の真空度が約580mmHgまで低下していると判断し、タービン保護のためタービンを手動停止し、それに伴い原子炉が自動停止した。

この際、運転員が監視画面（CRT）において復水器の真空度と発電機出力の指示を見間違えたことから、真空度が約580mmHgまで低下したと誤って判断し、タービンを停止させたものと考えられる。

なお、外部に対する放射能の影響はない。

2. 原因調査

(1)調査の結果、復水器真空ポンプの空気抽出器ノズル部にある凍結防止用ヒータの断線等が認められたことから、復水器真空度低下の原因は、空気抽出器ノズル部の凍結等により真空ポンプの性能が低下したことによるものと推定される。

(2)今回の原子炉停止までの状況について調査した結果、以下の事実が判明した。

- ・ 海水漏れ込みに伴う復水器の点検を実施していたことから、運転員は復水器の状態について監視を強化していた。
- ・ 19日10時35分頃からわずかに真空度低下が認められたため、運転員は復水器細管の損傷を念頭に置き、監視体制を強化した。
- ・ 監視強化はCRT画面によって行われたが、CRT画面では、復水器真空度と発電機出力が並べて表示されており、10時46分時点において、復水器真空度は約727mmHg、発電機出力は約700MWであった。
- ・ この時点で運転員は、CRT画面における復水器真空度と発電機出力の値を見誤り、復水器真空度が700mmHgに低下したと認識し、当直課長もこれを追認し、出力降下を決定した。
- ・ その他の運転員においても、それぞれが担当する計器確認等に集中していたため、復水器真空度の誤認に気づかなかった。
- ・ その後も当直課長は復水器真空度がさらに低下したものと認識し、復水器細管に大きな損傷が発生した可能性があるかと判断して、タービン保護の観点から、タービンを手動で停止させた。

3. 対策

復水器真空度低下については、断線したノズルヒーターの交換、断線時に警報が発信するよう設備改善等を実施する。

復水器真空度の誤認については、全運転員に対して、運転監視や運転員間の連携の重要性等運転の基本について再確認するとともに、今回のヒューマンエラーの教訓を運転員間の連携の観点から分析し、教育訓練に反映する。

また、設備面の対策として、CRT画面の配置の改善等を実施する。

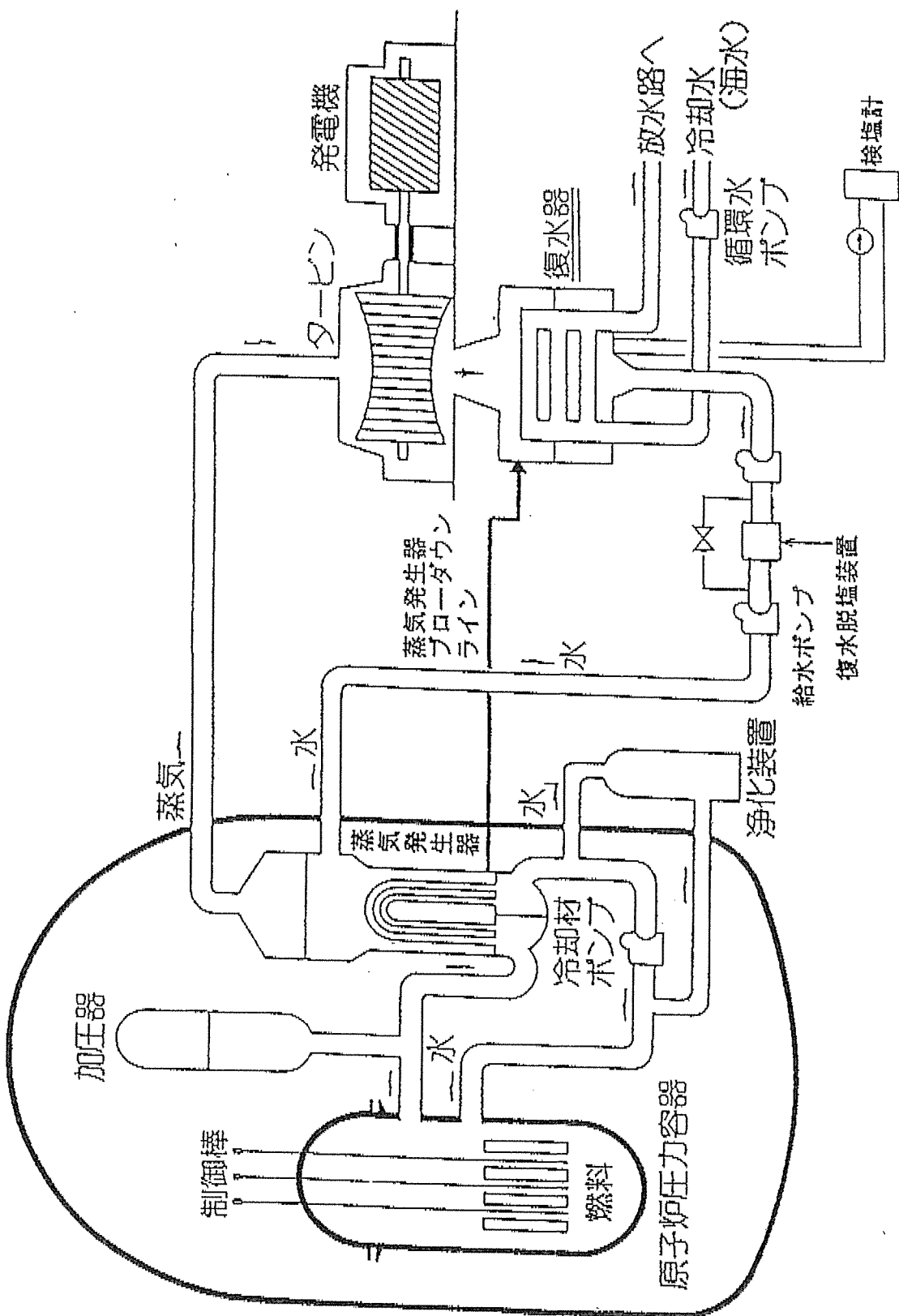
(I N E S による暫定評価)

基 準 1	基 準 2	基 準 3	評価レベル
—	—	0 —	0 —

問合せ先：公益事業部電力技術課
内線3841 直通3501-1742
原子力発電運転管理室
内線3807 直通3501-1739

原子炉格納容器

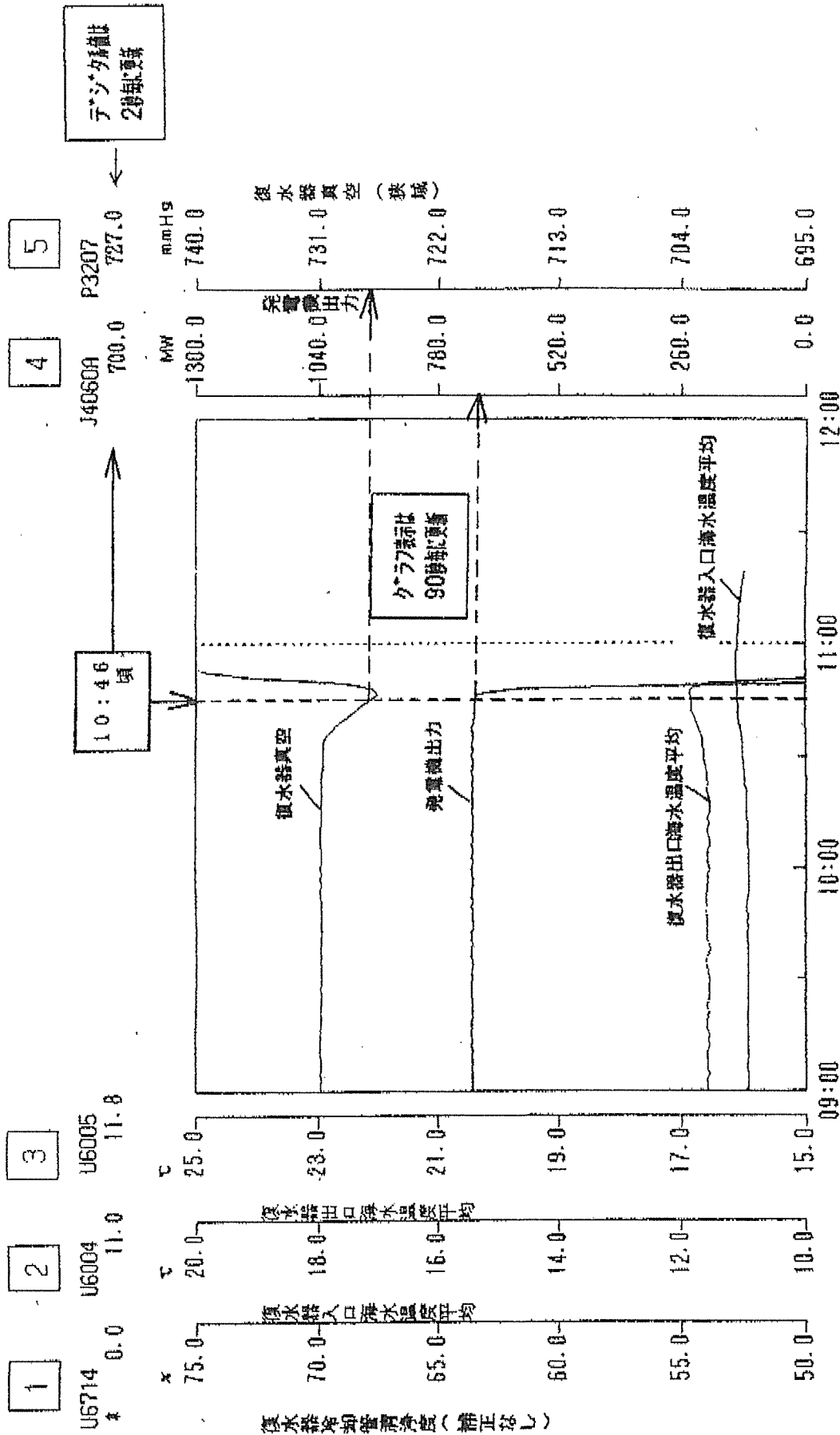
大飯発電所 2 号機概略系統図



運動監視画面

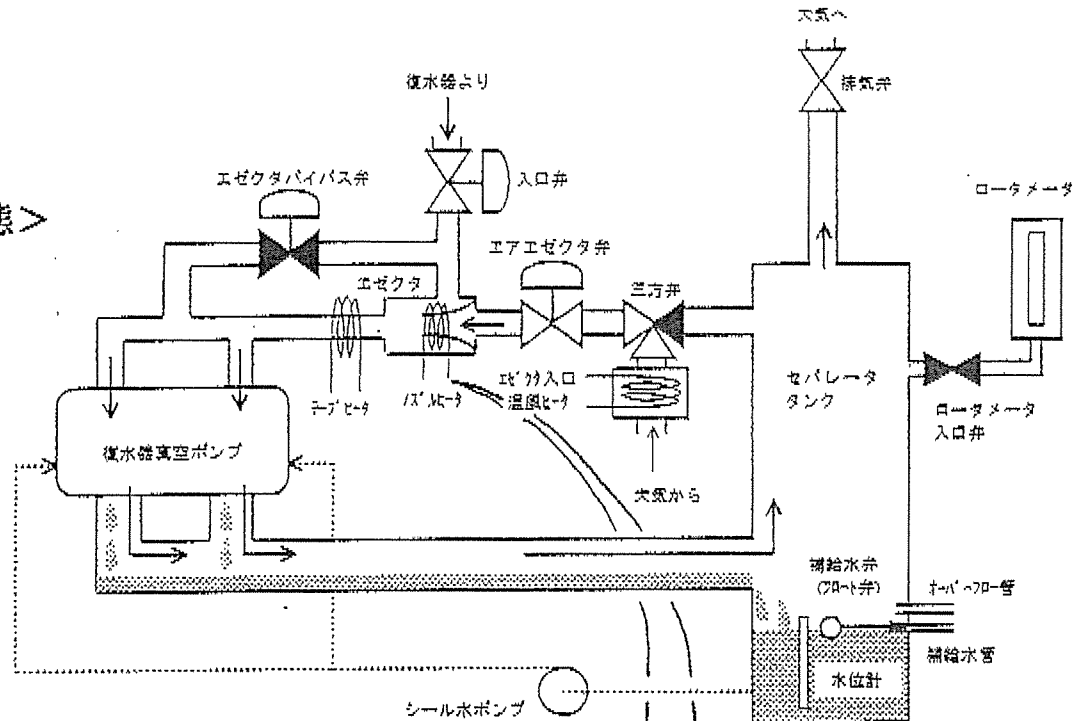
TGL2-068

大板2号機



復水器真空ポンプの性能低下メカニズム

<通常状態>

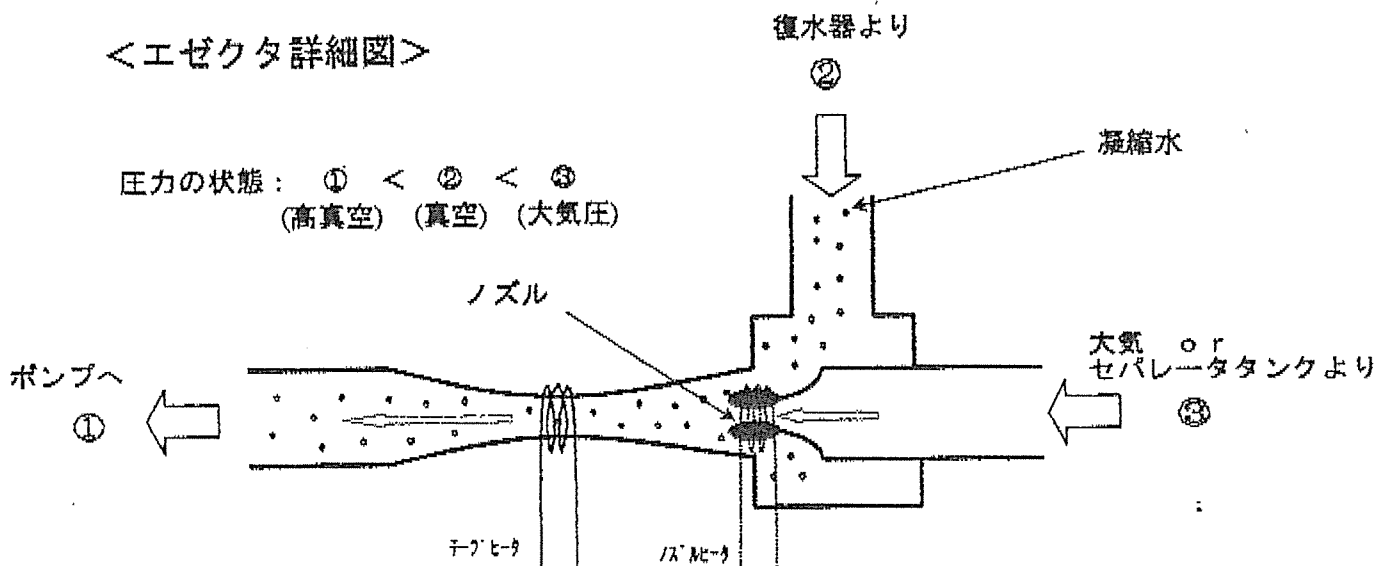


注) ノズルヒータの機能

エゼクタ部は流れる空気の減圧膨張により温度が低下しており、さらに冬場になると外気温が低下することから凍結しやすい状態になる。

このためヒータにより復水器からの凝縮水を含んだ空気を暖めて凍結を防止している。

<エゼクタ詳細図>



Bー復水器真空ポンプのノズルヒータ不良によりノズル部が凍結し、流路穴が小さくなることにより性能が低下した。

関西電力（株）大飯発電所 2 号機 の 出力 降下 の 原因 と 対策 について

平成 1 2 年 2 月 日
資 源 エ ネ ル ギ ー 庁

1. 平成 1 2 年 2 月 1 4 日 の 発表 内容

関西電力(株)大飯発電所 2 号機（加圧水型、定格出力 1 1 7 万 5 千キロワット）は、定格出力で運転中のところ、復水器の導電率に上昇傾向が認められた。復水器内に海水の微少な漏れ込みが発生しているものと考えられるため、2 月 1 4 日午後 2 時 0 0 分から出力降下を開始し、電気出力を約 6 0 %（約 7 0 万 5 千キロワット）まで降下させ、復水器の点検・修理を行うこととした。
なお、外部に対する放射能の影響はない。

2. 原因 と 対策

点検の結果、海水の漏れ込みがあると考えられた 1 B 及び 3 B 復水器細管全数について、発泡剤等による漏えい検査を実施したところ、1 B 復水器の 2 本の細管に漏えいが認められた。当該漏えい管 2 本について、渦流探傷検査（E C T）及びファイバースコープによる観察を実施した結果、細管内表面部に減肉と考えられる箇所が認められた。

さらに、1 B 及び 3 B 復水器細管全数について E C T を実施したところ、細管 2 4 4 本に施栓基準に達する減肉信号が認められた。そのうち貫通に至った細管 2 本を含む 1 7 1 本については、前回定期検査時に取り替えた保護皮膜形成管であった。

このため、今回 E C T により貫通が認められた細管（2 本）及び減肉が認められた細管（2 4 4 本）を施栓するとともに、前回定期検査時に取り替えた保護皮膜形成管に多数の減肉が認められたことから、予防保全として前回定期検査で取り替えた残りの保護皮膜形成管全数（1 9 1 本）についても施栓することとし、再使用しないこととした。また、減肉が認められた保護皮膜形成管については、次回定期検査（平成 1 2 年 3 月 1 0 日から実施）時に抜管し、詳細に調査することとした。

（注）保護皮膜形成管

内面に、海水による腐食を予防するために、あらかじめ工場にて薄い鉄皮膜を形成させた黄銅管。

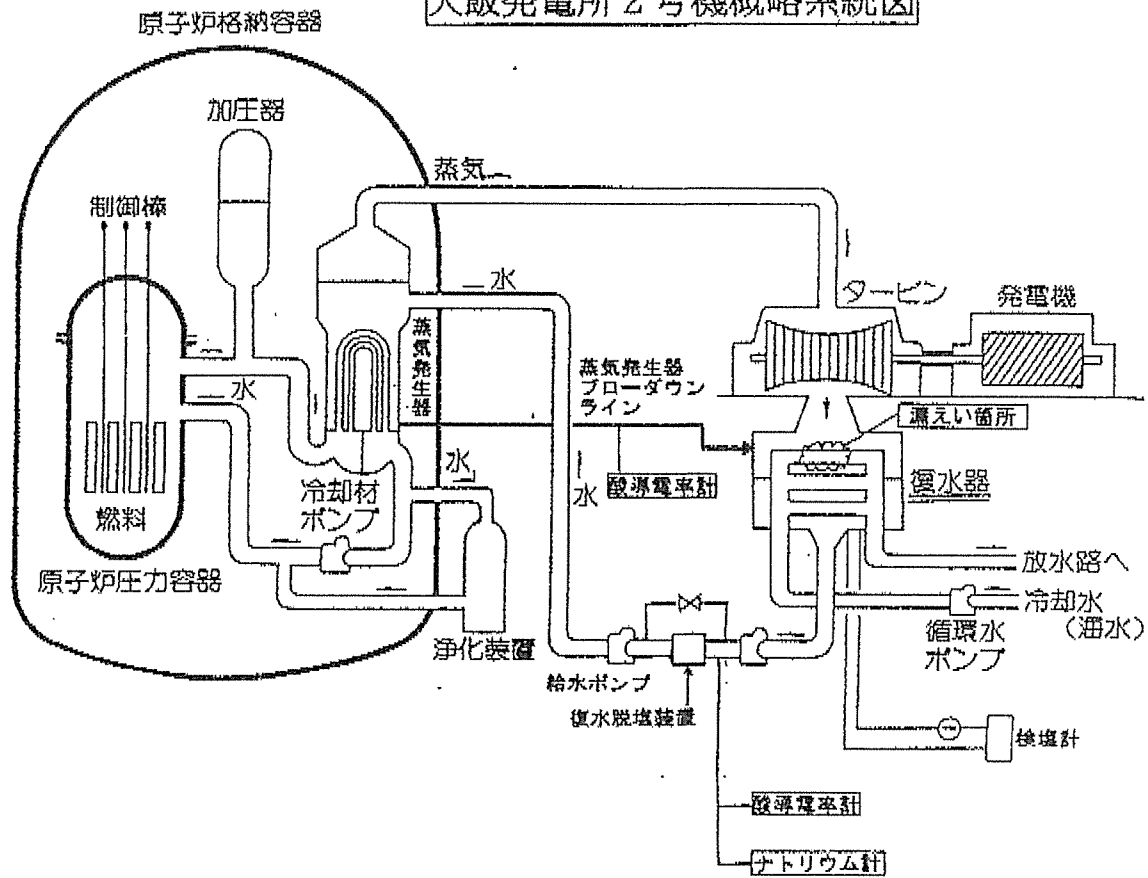
（I N E S による 暫定 評価）

基 準 1	基 準 2	基 準 3	評価レベル
評価対象外			評価対象外

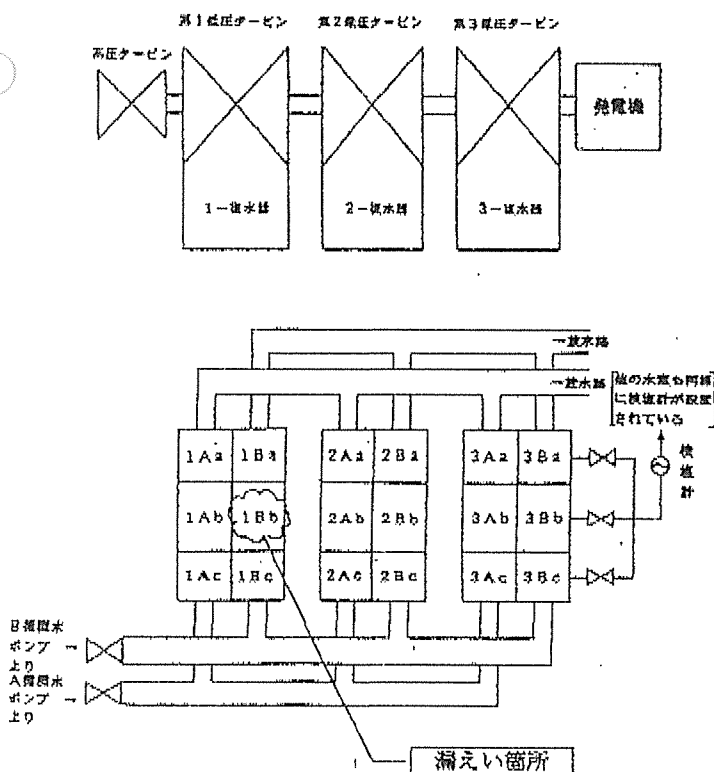
※本事象は、原子炉施設の安全性に関係しない事象であるので、評価対象外と判断される。

問合せ先：公益事業部電力技術課
内線 3 8 4 1 直通 3 5 0 1－1 7 4 2
原子力発電運転管理室
内線 3 8 0 7 直通 3 5 0 1－1 7 3 9

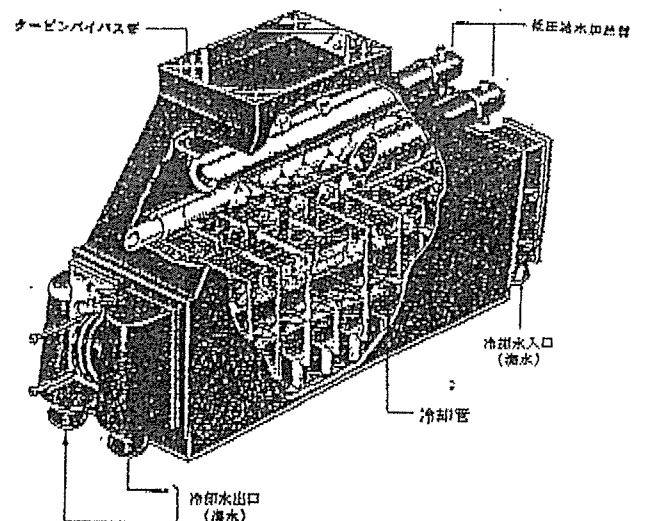
大飯発電所 2号機概略系統図



復水器概要図

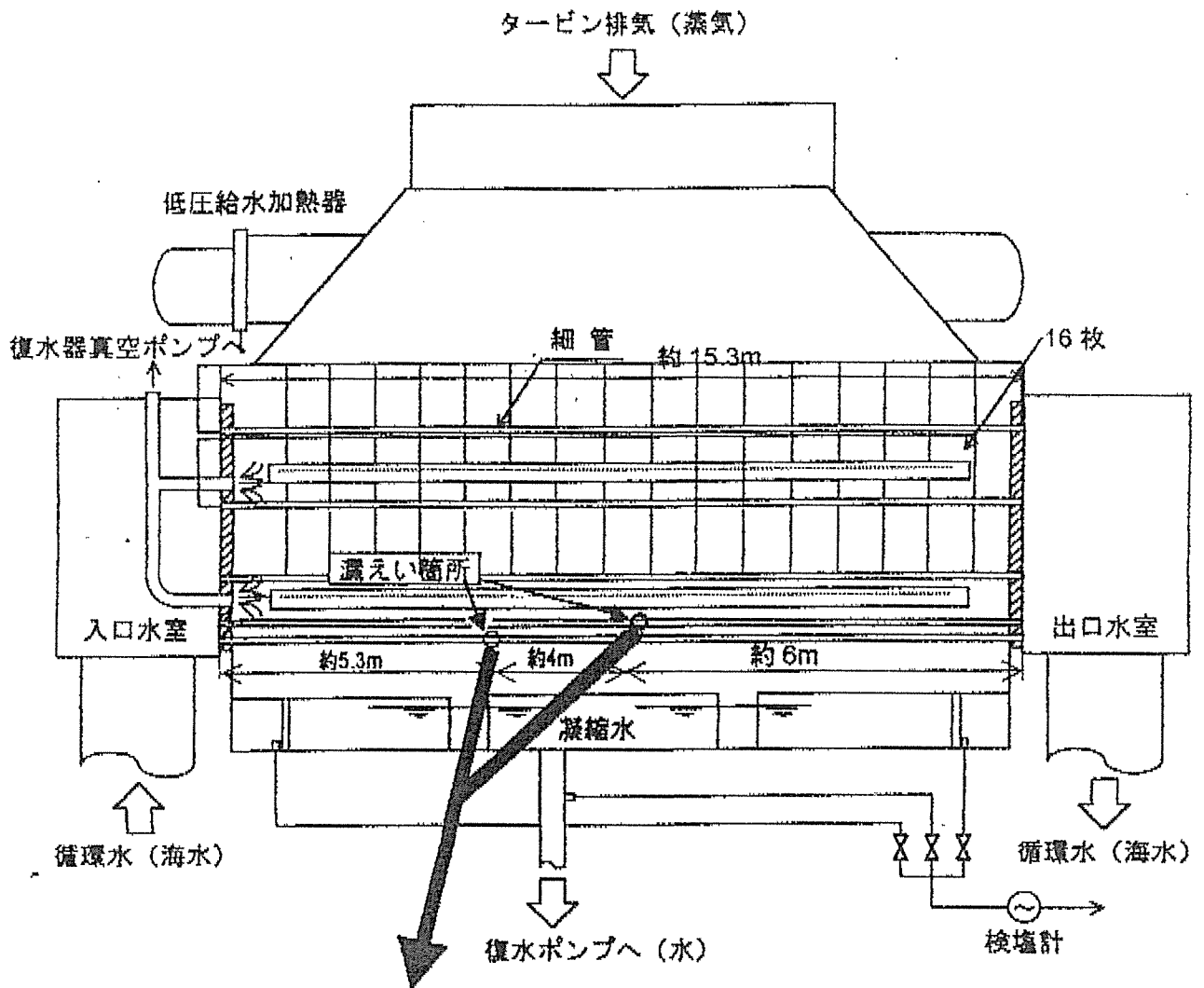


復水器設備仕様および概要図

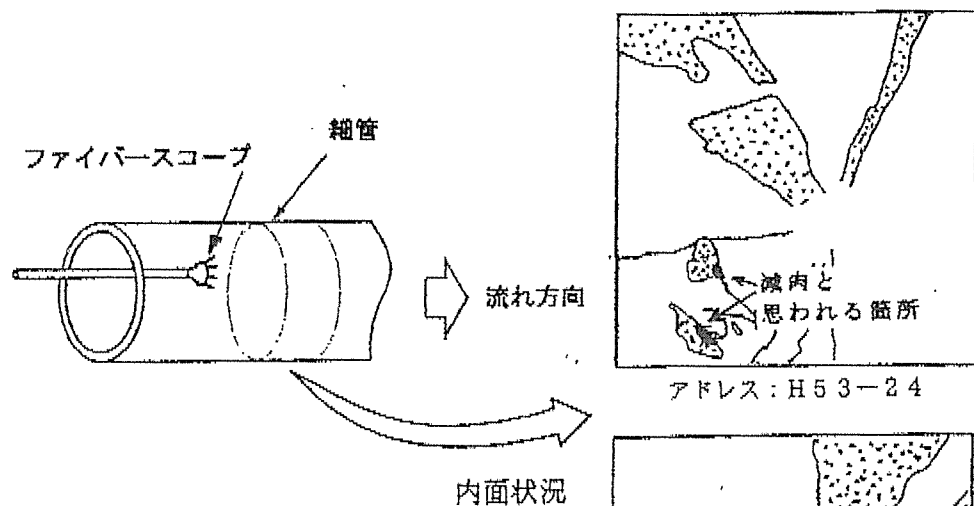


[設備仕様]	設備数量	3台
	型式	表面冷却式半流半区分3層平行流型
	本体材質	炭素鋼
	冷却管外径	25.4 mm
	冷却管壁厚	1.245 mm
	管板間距離	15.24 m
	冷却面総数	86.172本/6水室
	冷却管材質	炭素鋼管

復水器細管漏えい位置図



漏えい細管内面調査結果



保護皮膜形成管の仕様

- ・材質…黄銅管
- ・寸法…外径25.4mm、厚さ1.245mm、長さ15.24m
- ・内面皮膜…水酸化鉄