

美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会
(第1回)

議事次第

1. 日時 平成16年8月11日(水) 17:00～19:00
2. 場所 経済産業省国際会議室(本館17階西2)
3. 議題
 - (1) 美浜発電所3号機2次系配管破損事故の概要について
 - (2) 現地調査の結果について
 - (3) 配管破損部位に対する点検の考え方、点検の状況について
 - (4) その他

配付資料一覧

- 資料1 - 1 美浜発電所3号機2次系配管破損事故の概要について
- 資料1 - 2 美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会による現地調査結果の概要
- 資料1 - 3 - 1 美浜発電所3号機の破損箇所に係るこれまでの検査実施状況
- 資料1 - 3 - 2 我が国における配管減肉に関する対応の経緯
- 資料1 - 3 - 3 原子力安全・保安院における当面の対応

(参考資料) 美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会の設置について

美浜発電所 3 号機 2 次系配管破損事故の概要について

1. 事故の経過*1

関西電力株式会社（以下「関西電力（株）」という。）美浜発電所 3 号機（以下「当該機」という。）は、定格熱出力一定運転中のところ、8 月 9 日 15 時 22 分、「火災報知器動作」警報が発報した後、15 時 28 分、「3A SG 給水<蒸気流量不一致トリップ」警報*2が発報し、原子炉が自動停止した。

事業者からの報告によれば、原子炉は自動停止後、タービン動補助給水ポンプ及び電動補助給水ポンプが自動起動し、蒸気発生器への給水が行われた。また、一次冷却材圧力バウンダリの温度・圧力は正常であった。

現地の原子力保安検査官による現場確認の結果、タービン建屋 2 階の天井付近にある復水配管（第 4 低圧給水加熱器～脱気器の間の復水配管）において、破口を確認した。

あわせて、プラント停止状態に異常がないことを確認した。

また、事故発生時に現場にいた協力会社の作業員が配管の破口による蒸気の影響を受け、4 名が死亡し、7 名が負傷した。

配管の破口は、「火災報知器動作」警報が発報した 15 時 22 分頃に発生したものと推定される。

なお、負傷者はいずれも、タービン建屋 2 階において、8 月 14 日から実施予定の定期検査の準備作業を行っていた。

本件原子炉は、加圧水型軽水炉といわれるタイプであり、漏えいした蒸気には、放射性物質は含まれていない。

原子炉は、8 月 10 日 19 時 05 分、安全に低温停止状態に移行した。

*1 事故の経過については、関西電力（株）からの報告及びプレス発表資料に基づく。

*2 「給水<蒸気流量」信号（設定値：312t/h）と、「3A-SG水位低」信号（設定値：狭域レンジの 25 %水位）との一致により発報。

2. 周辺環境への影響

現地の原子力保安検査官による現場確認の結果、各排気筒モニタ及び野外モニタの指示値に変動はなく、本事象による周辺環境への放射能の影響がないことを確認した。

3. 原因調査

当該破口箇所は、流量計測オリフィスの下流部であるが、原因については現在調査中。

(配管仕様)

材質 炭素鋼

外径 約560mm

厚さ 約10mm

最高使用温度 約195℃

最高使用圧力 約1.27MPa

(当時の当該部の状況)

第4給水加熱器～脱気器

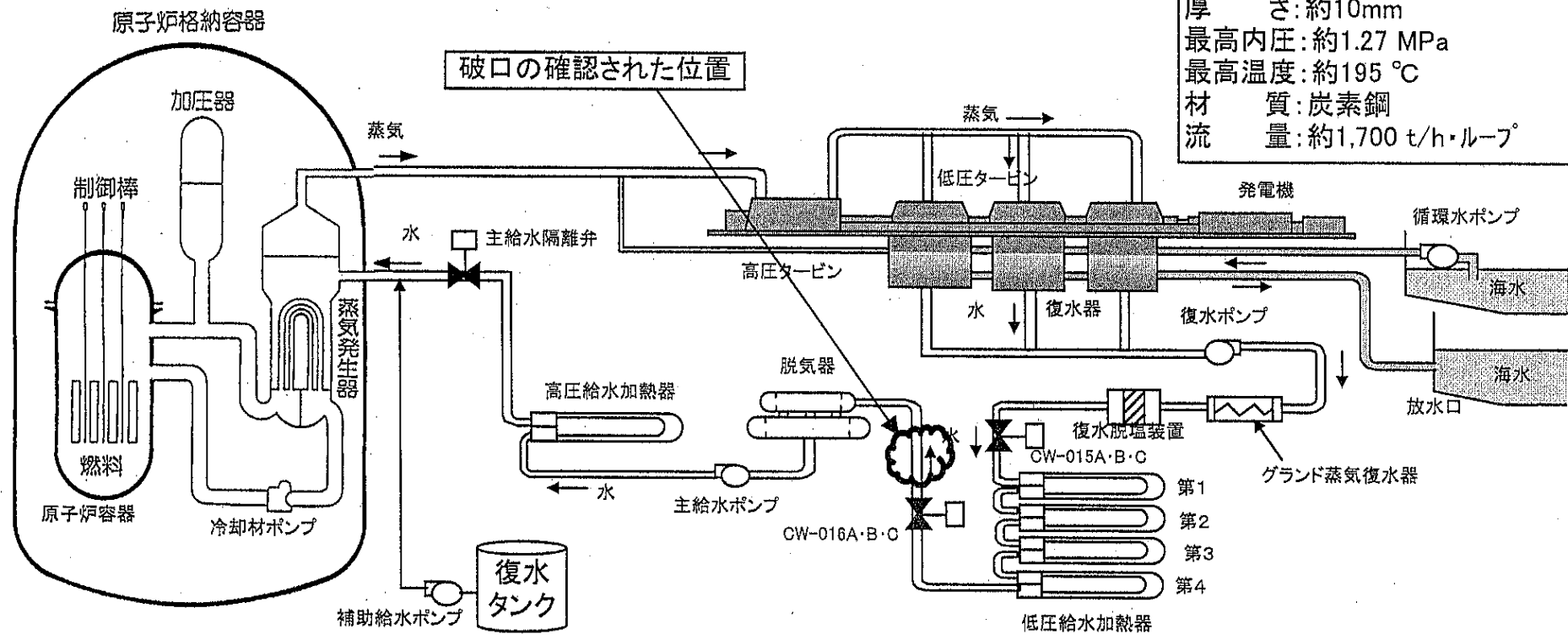
温度 約140℃

圧力 約0.93MPa

流量 約1,700t/h

以上

概略系統図



[復水配管]
 外 径: 約560mm
 厚 さ: 約10mm
 最高内圧: 約1.27 MPa
 最高温度: 約195 °C
 材 質: 炭素鋼
 流 量: 約1,700 t/h・ループ

添付資料

美浜発電所3号機2次系配管破損事故に係る資料

関西電力㈱からの提供資料及びプレス発表資料により作成

被災者発生の時系列

- ・ 8月9日のタービン建屋立入者 221名 (うち被災者11名)
- ・ 8月14日からの美浜3号機第21回定期検査の準備作業 (床の養生、作業エリア区画、工具類の搬入等) を実施

<8月9日>

- 15:27 運転員がタービン建屋2階エレベーター前で倒れている被災者を発見
- 15:28 発電室長から所次長および所長室に被災者の報告あり
- 15:30 タービン建屋からの避難放送を断続的に放送
~45
- 15:30 119救急通報、救急車を数台要請
~35 始めに救急車2台の出動決定
- 15:35 被災者の救出開始 (看護師2名を現地へ派遣)
- 15:43 119救急通報 (救急車の追加要請)
- 15:47 119救急通報 (消防より確認のあった被災原因について、蒸気の可能性が高いことを報告)

*3ヶ所から計11名の被災者を順次救出

- (タービン建屋2F 踊り場2名の救出)
- 15:35 タービン建屋踊り場で2名が倒れていた。
階段に最も近い人1名を踊り場から3号機休憩室にタンカにて救出
- 15:40 2人目を救出
(タービン建屋2F 倒れている4名の救出)
- 15:50 タービン建屋2Fから1人目を3号機休憩室にタンカにて救出
- 16:00 タービン建屋2Fから2人目を3号機休憩室にタンカにて救出
- 16:05 タービン建屋2Fから3人目を3号機休憩室にタンカにて救出
- 16:10 タービン建屋2Fから4人目を3号機休憩室にタンカにて救出
(タービン建屋1F 自力歩行可能な5名の救出)
- 15:35 1F便所に5名がいた。
4名の作業着の上からホースにより水をかけ、全身を冷やしていた。
- 15:45 1人目はタービン建屋外の洗面所に自力で行き、休憩室に移動した。
2人目は自力で動くことができ、3号機休憩室に移動した。
3人目は3号機休憩室にタンカにて救出
- 16:10 4人目は3号機休憩室にタンカにて救出
- 16:30 5人目は3号機休憩室にタンカにて救出

- 15:58 消防車 (救急隊員) 到着
- 16:00頃 当社社員および協力会社社員により、タービン建屋1F、2Fの捜索を開始
- 16:00 救急車1台目出発 (1名搬送)
- 16:13 救急車2台目出発 (3名搬送)
- 16:18 被災者が11名であることを確認

- 16:20 救急車3台目出発(2名搬送)
- 16:25 被災者全員が木内計測の社員であることを確認
- 16:27 消防署救急隊6名および当社社員2名がタービン建屋3Fの捜索を開始
- 16:38 救急車4台目出発(2名搬送)
- 16:46 救急車5台目出発(2名搬送)および消防車出発(1名搬送)
*確認された被災者11名全員の搬送が完了
(搬送先病院:市立敦賀病院8名、国立福井病院3名)
- 17:22 市立敦賀病院内科医から電話連絡あり(被災者の状況)
- 17:50 捜索の結果、タービン建屋1F、2F、3Fに被災者がいないことを確認
- 17:53 チェッカーで待機をしていた管理区域内作業員の132名が退出
- 18:27 消防署救急隊と当社社員1名が主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを確認
- 18:30頃 市立敦賀病院に派遣した当社社員からの情報により、4名が亡くなったことを確認
- 18:32 タービン建屋立入制限の解除(消防による判断)
- 19:00 現地の消防隊がタービン建屋1F、2F、3Fに加え、地下および中間建屋の捜索終了。その他に負傷者等がいないことを確認し、消防本部へ連絡

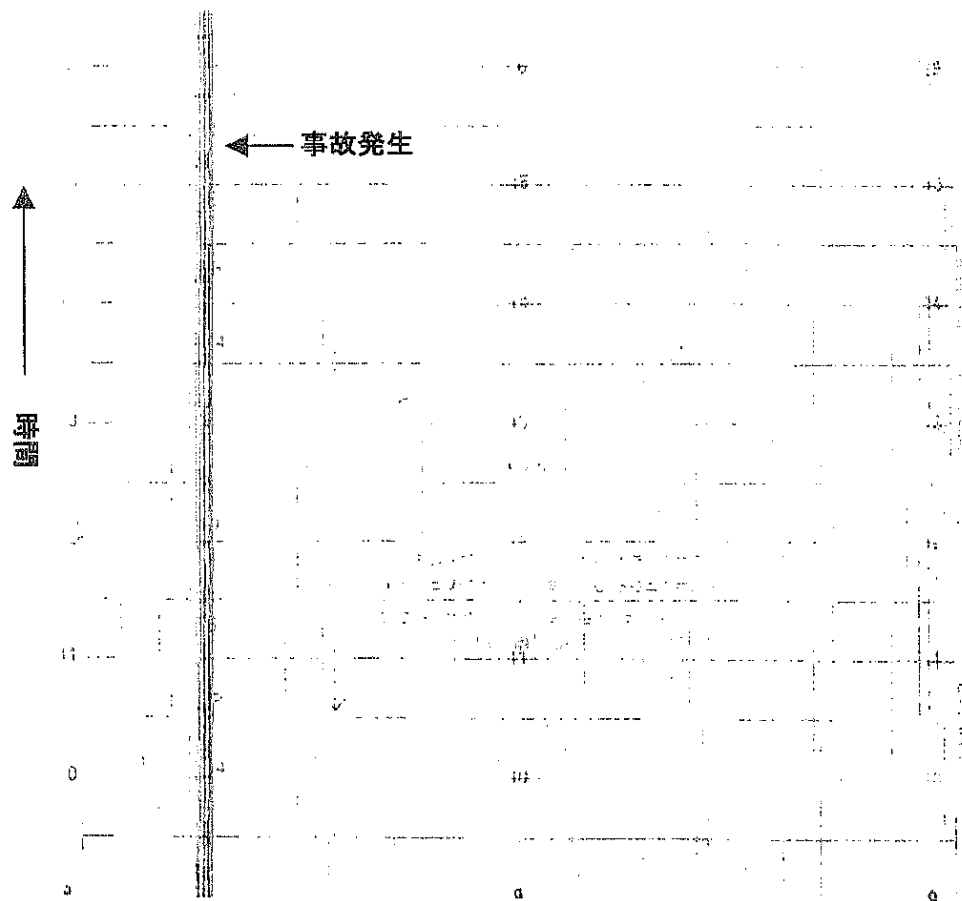
美浜発電所3号機原子炉自動停止に関する時系列

時刻

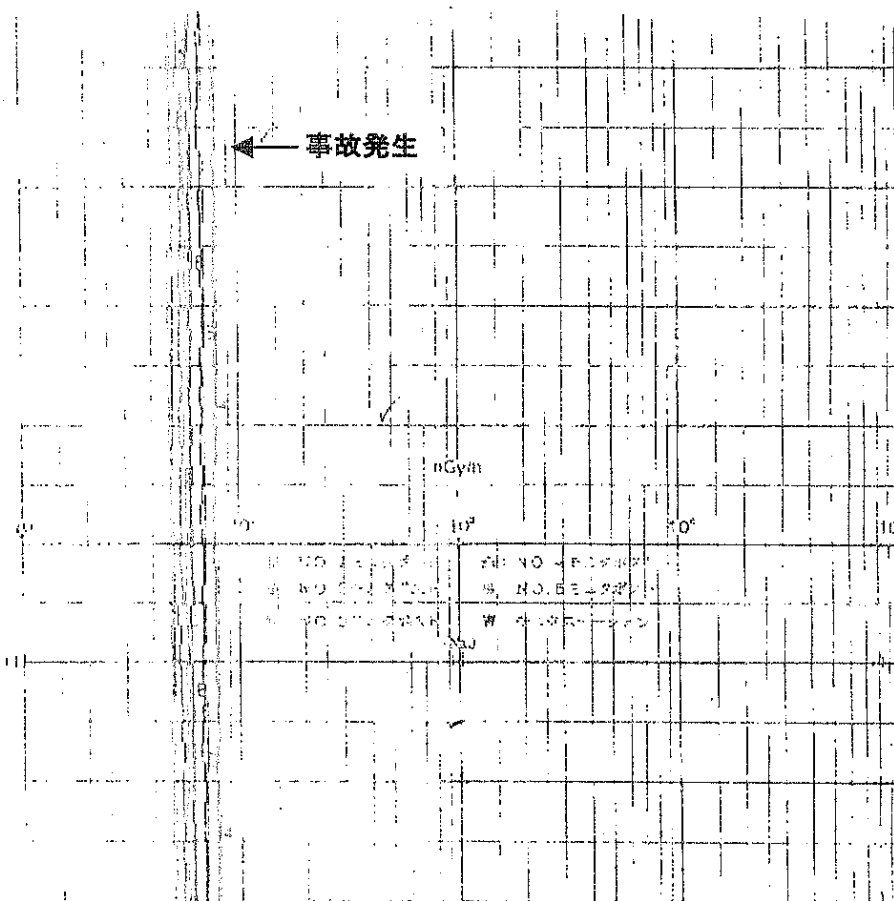
- 15:22 「火災報知器動作」警報発信
- 15:23 「A系直流接地」警報発信
- 15:25 運転員がタービン建屋を確認した結果蒸気が充満していた。
- 15:26 緊急負荷降下開始
- 15:28 A-S/G給水<蒸気不一致トリップ
「3A SG給水<蒸気流量不一致トリップ」ファーストアウト警報発信
(プラントトリップ状態良好)
- 15:30 タービン建屋からの退避放送を1分毎に約10回程度実施
- 15:35 プラント高温停止状態安定確認
- 15:45 脱気器の水位が低下していることを確認
- 15:58 RCSボレーション開始
- 16:05 主蒸気隔離(タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替)
- 16:26 主給水隔離弁閉止
- 16:41 タービンターニング開始
- 16:55 S/G水位 各約33%(電動/タービン動補助給水ポンプ運転中)
- 17:12 タービン動補助給水ポンプ停止、同ポンプ出口流量調整弁手動閉止
- 18:04 4ヒータ出口弁 CW-016A・B・C 閉止
- 18:05 1ヒータ入口弁 CW-015A・B・C 閉止
- 23:30 クールダウン開始

注:記録計時間は赤ペンを基準で調整する。

野外モニタ(電離箱)



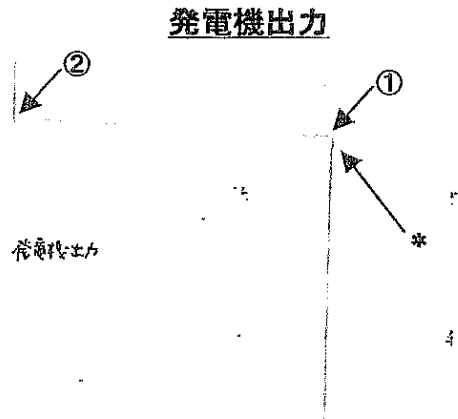
野外モニタ(Nai)



2次系復水には放射性物質は含まれていないため、野外モニタの指示値は変化なし

パラメータ挙動の解説

注: 記録計時間は赤ペンを基準で調整する。

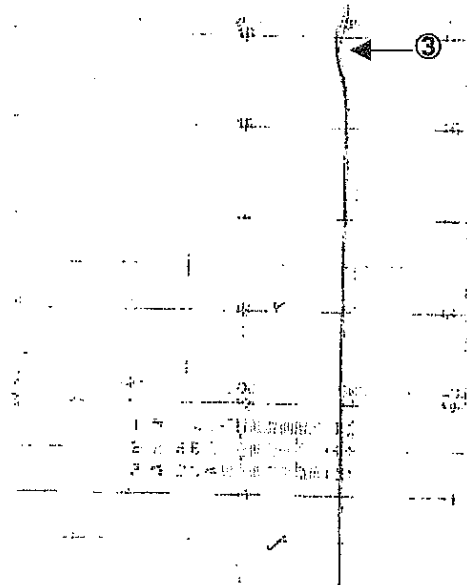


① 発電機出力一定運転状態から、
(火災報知器動作以降)緊急負荷降下
操作を実施

② この後原子炉が自動停止、タービンお
よび発電機が自動停止し、発電機出力
が降下

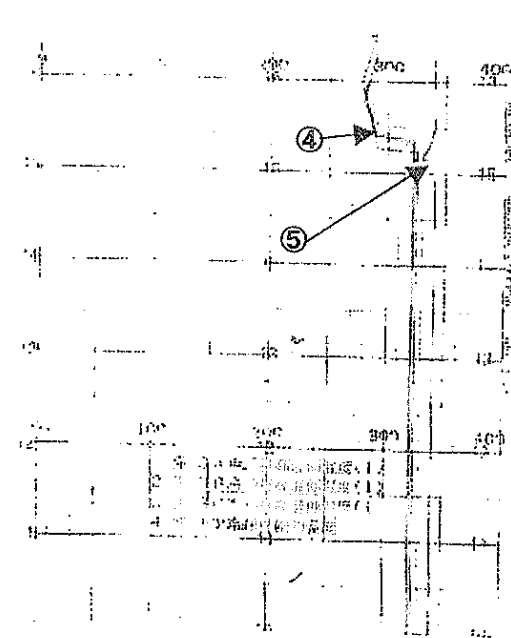
なお、*で発電機出力が少し上昇してい
るのは、これは復水管からの漏れ発生
により脱気器への補給水量が減少し、脱気器
保有水温度が上昇したことによるものである。

冷却材低温側温度



③ 原子炉自動停止に伴う過渡状態で
冷却材低温側温度が一時的に低下し
たが、その後286℃で安定

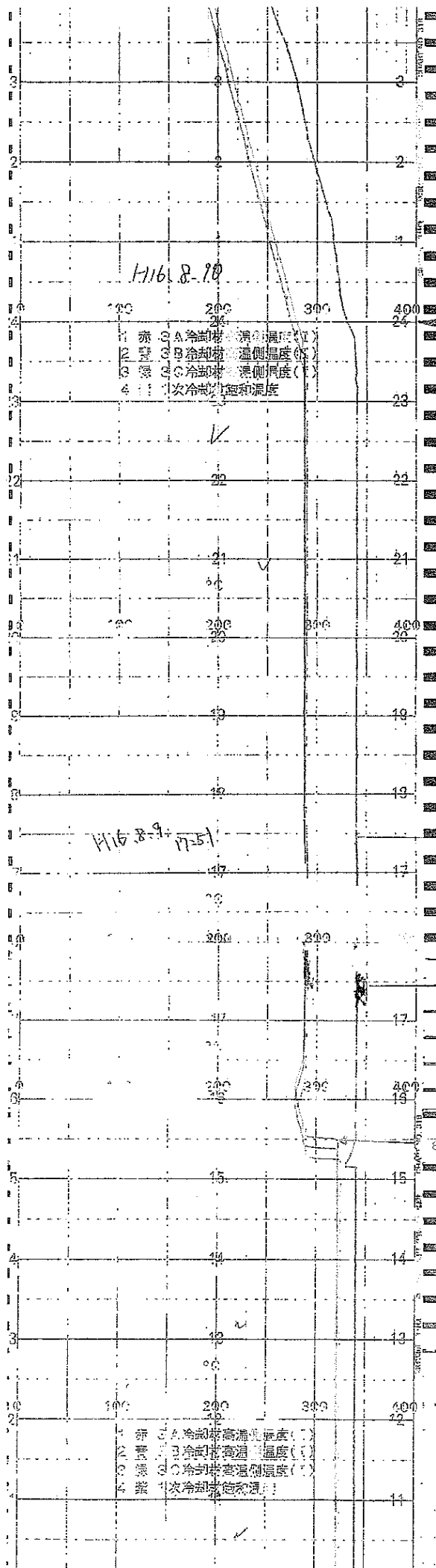
冷却材高温側温度



④ 原子炉自動停止に伴い、原子炉出力が
低下したため、冷却材高温側温度が
低温側温度と同等まで低下

⑤ 原子炉自動停止に伴う過渡変化により
1次冷却材圧力が低下したため、飽和
温度が一時的に低下

冷却材高温側温度 記録計



(A)
(8/10 0:00)

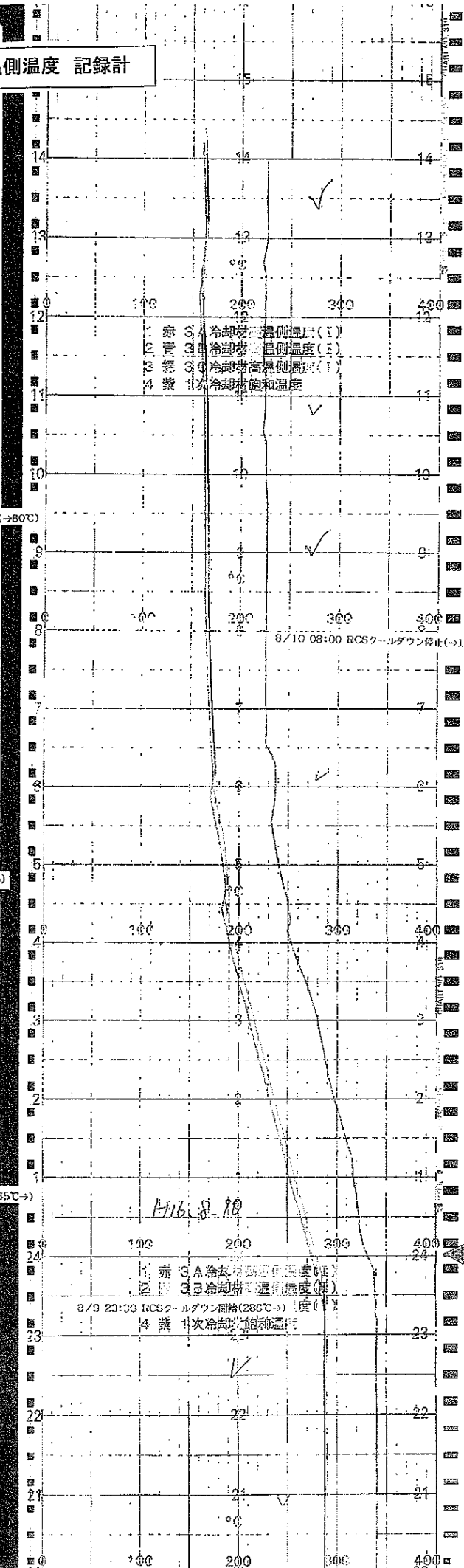
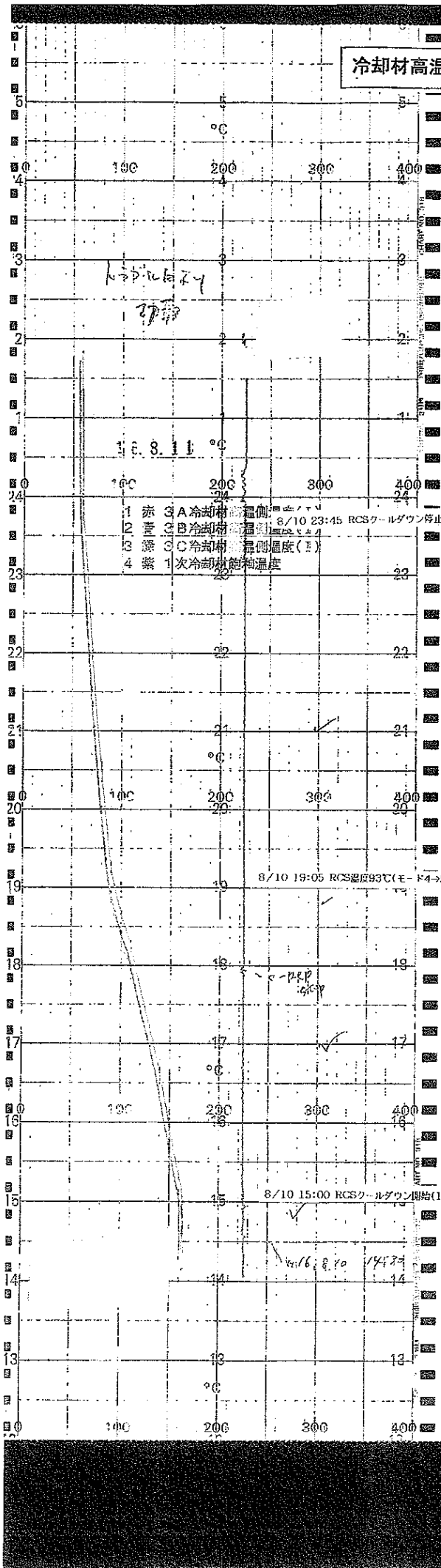
400-0000
時間経過

8/9 15:28 原子炉トリップ

時間

1. 赤 冷却材Aの温度 (°C)
2. 青 冷却材Bの温度 (°C)
3. 緑 冷却材Cの温度 (°C)
4. 黒 冷却材の飽和温度 (°C)

冷却材高温側温度 記録計

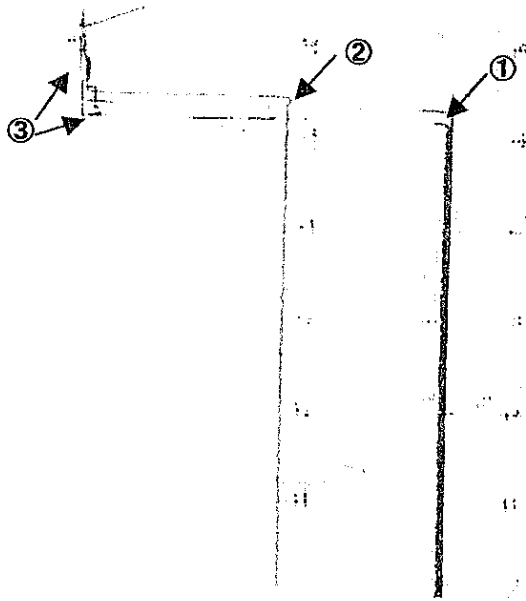


時間

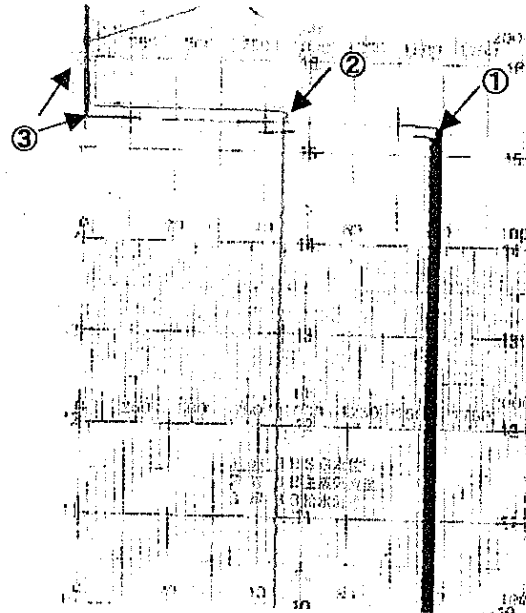
A
8/10 0:00

注: 記録計時間は赤ペンを基準で調整する。

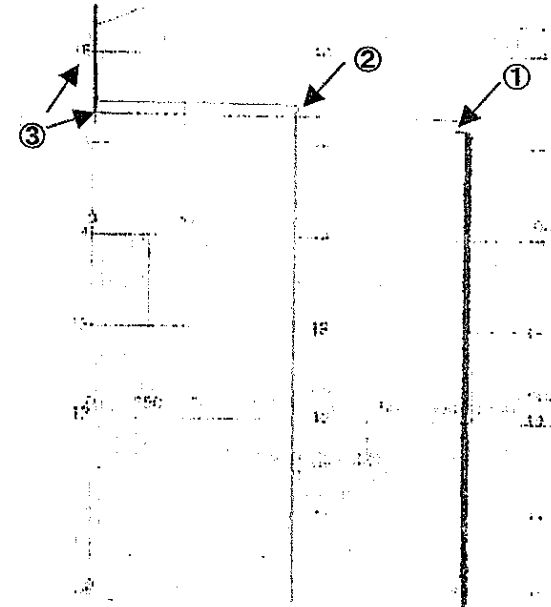
A-SG関係パラメータ



B-SG関係パラメータ



C-SG関係パラメータ



①緊急負荷降下に伴い、主蒸気・主給水流量が低下開始

②この後原子炉が自動停止、タービンおよび発電機が自動停止し、発電機出力が降下
補助給水ポンプによる補給開始

③主蒸気・主給水流量計は約60t/h以下では指示をカットするよう調整しているため、AとB,Cで指示の差が発生している。

冷却材圧力 記録計

CHART NO. 322
冷却材圧力記録計 (GRR-102)

時間

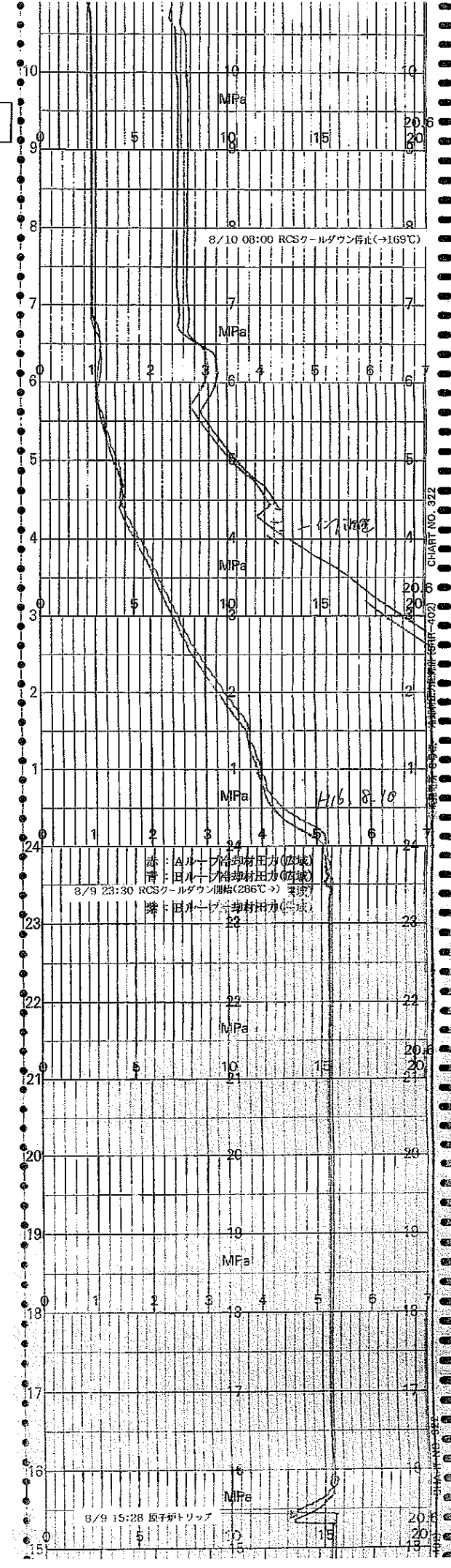
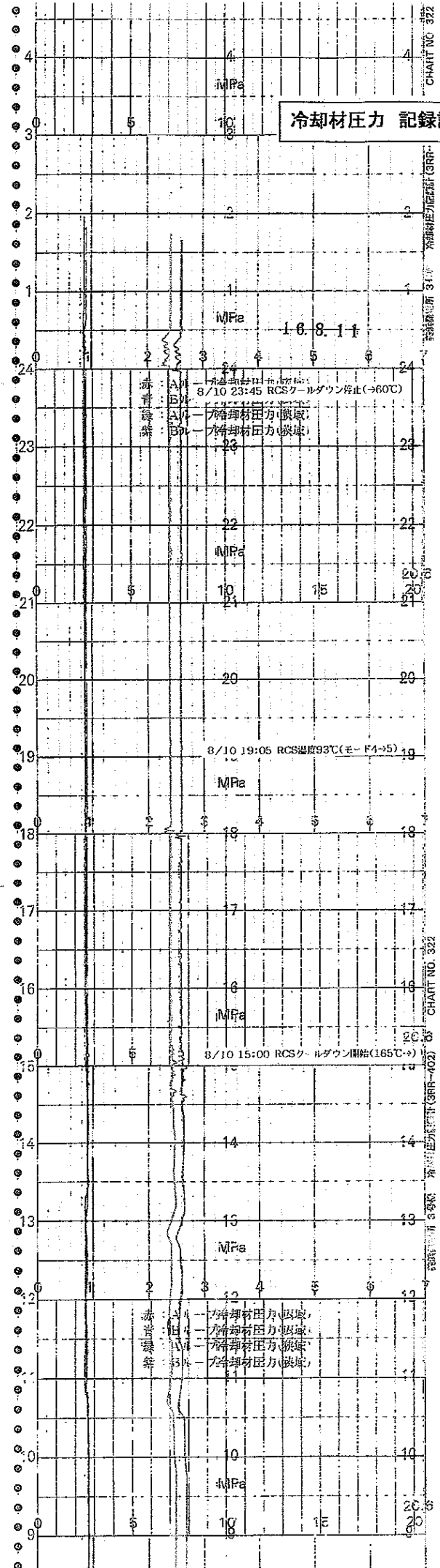
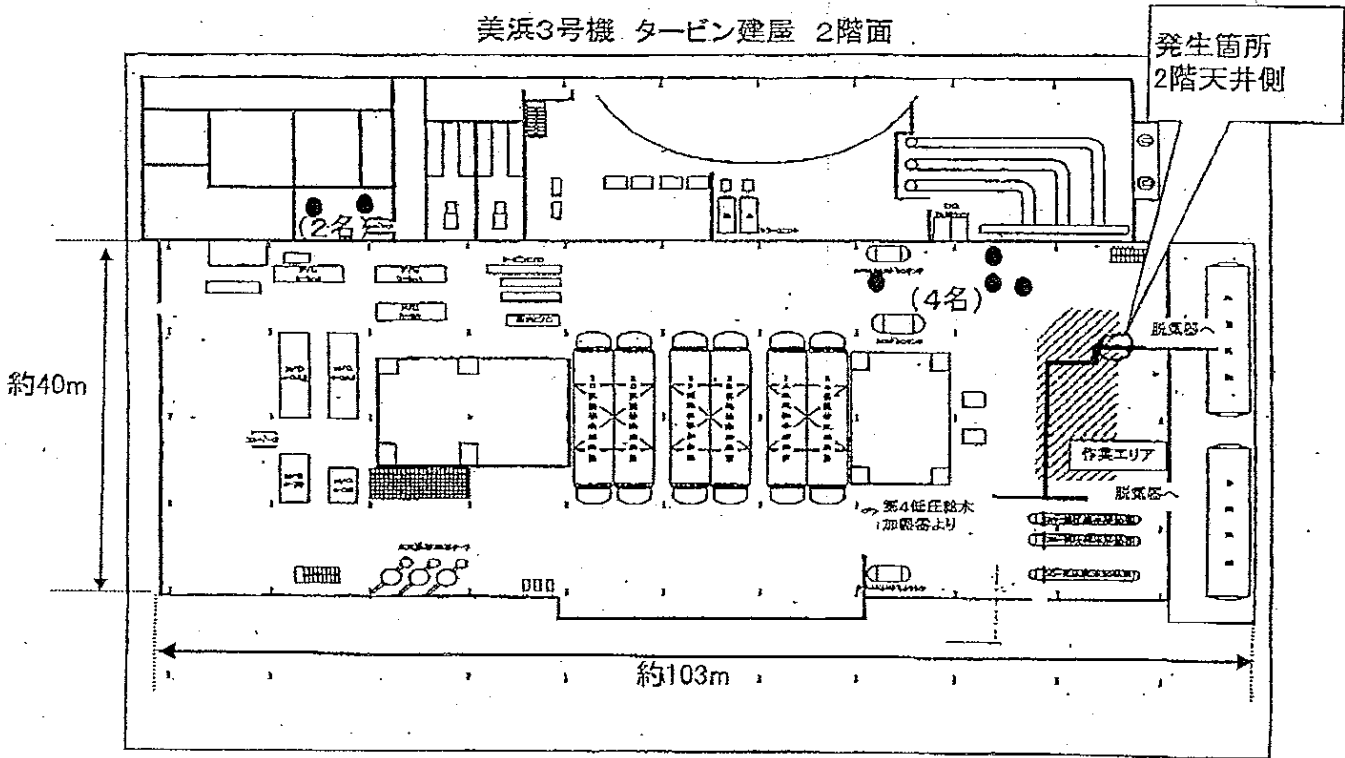


CHART NO. 322
冷却材圧力記録計 (GRR-102)

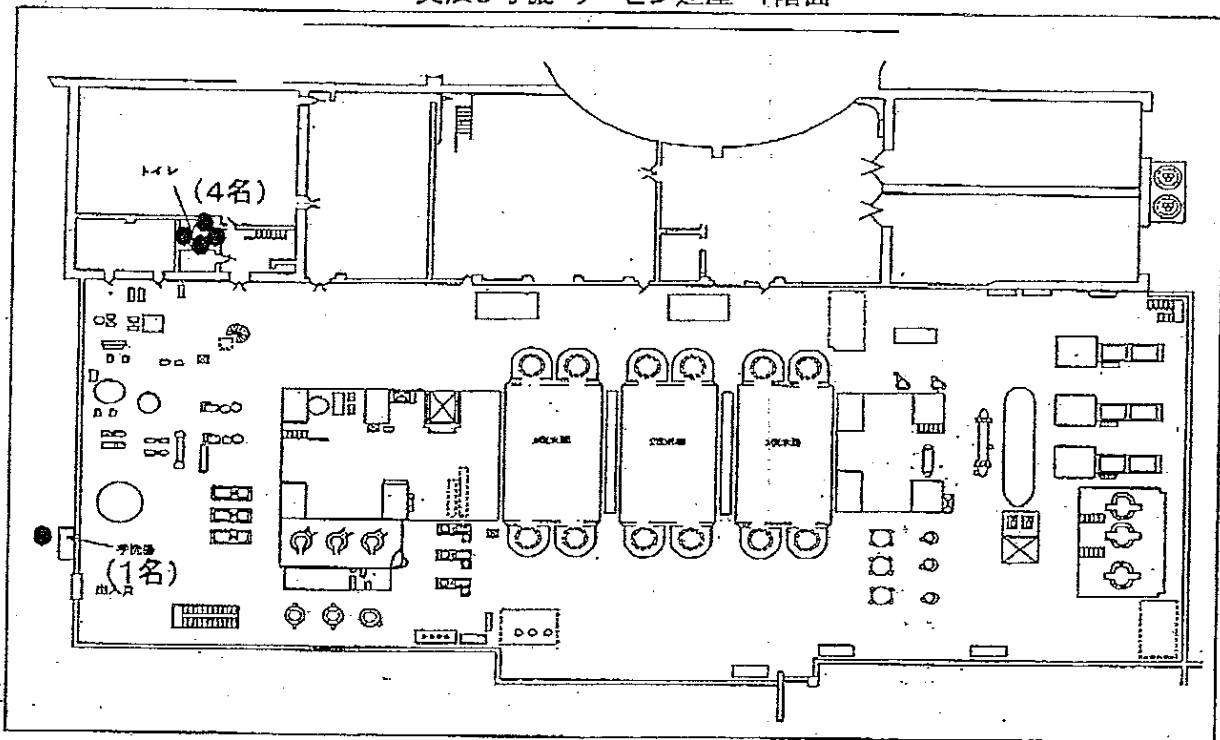
被災者の発見場所

● : 発見場所

美浜3号機 タービン建屋 2階面



美浜3号機 タービン建屋 1階面



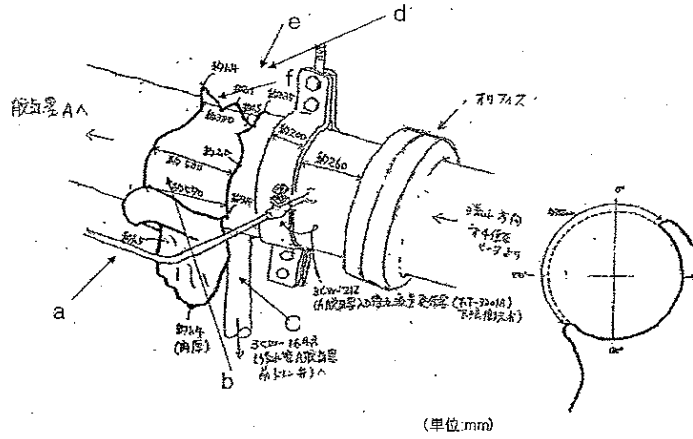
美浜発電所3号機2次系配管 破損事故調査委員会による 現地調査結果の概要

平成16年8月11日

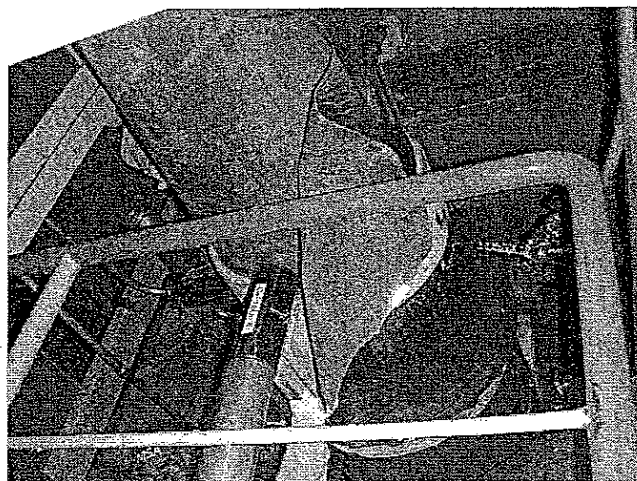
現地調査の概要

- (1)日時:平成16年8月10日(火)
- (2)場所:関西電力(株)美浜発電所3号機タービン建屋2階
- (3)調査委員
 - 辻川 茂男 東京大学名誉教授
(原子炉安全小委員会及び事故故障対策WG)
 - 宮 健三 慶應義塾大学大学院理工学研究科教授
(原子炉安全小委員会及び事故故障対策WG)
- (4)調査状況
 - 12:50~13:30 関西電力(株)からの説明
 - 13:30~14:00 現場確認

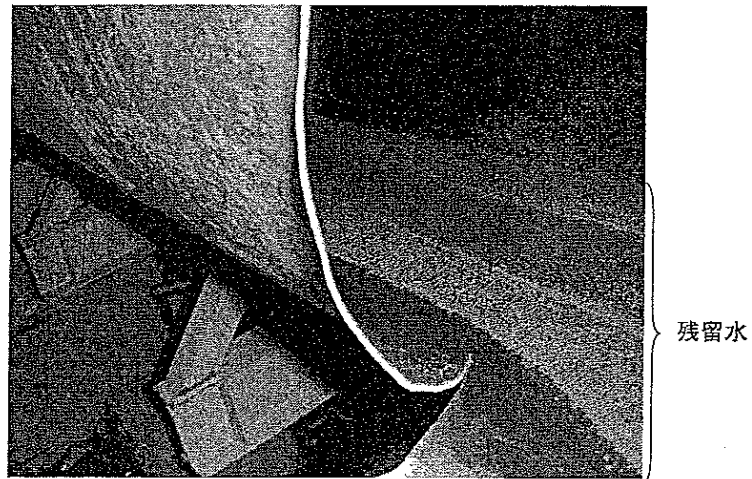
復水配管の破口部スケッチ図(事業者作成)



復水配管のオリフィス下流側からオリフィス方向へ見た右外側破断面(a方向から撮影)



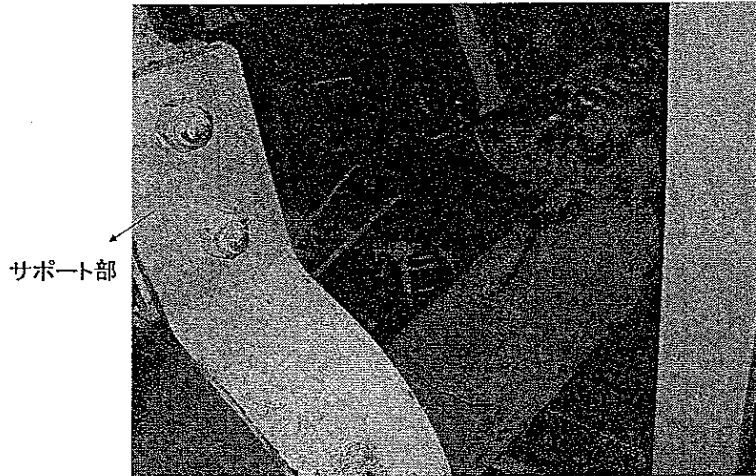
復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向
へ見た左周方向破断面(b方向から撮影)



復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向
へ見た左周方向内側破断面(c方向から撮影)



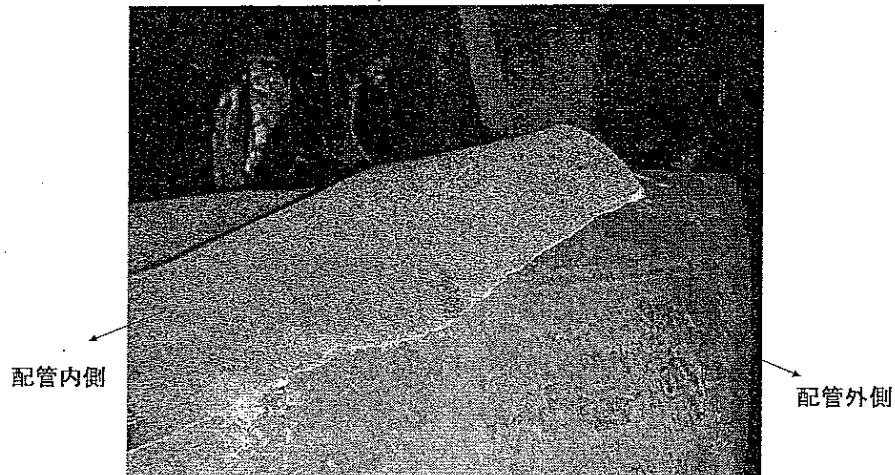
復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向
へ見た右内側破断面(d方向から撮影)



復水配管のオリフィス下流側からオリフィス方向
へ見た左軸方向内側破断面(拡大図)
(e方向から撮影)



復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向
へ見た右軸方向内側破断面(f方向から撮影)



両委員からの今後の課題としてのコメント

- (1) 関西電力(株)の「減肉に対する管理方式」
- (2) 同様な事故である米国サリー原発の教訓をどう反映していたのか
- (3) オリフィスによる流況の乱れと減肉率の関係
(エロージョン・コロージョン)
- (4) 28年間無検査であったことの説明
- (5) 今後の検査の在り方の検討の必要性
- (6) その時の検討の視点
- (7) 破口状況の説明(応力解析)
- (8) パイプラインのガスによる破損実績の文献調査(バルジ効果)
- (9) 水平展開の必要性の検討

美浜発電所3号機2次系配管 破損事故調査委員会による 現地調査結果の概要

平成16年8月11日

現地調査の概要

(1) 日時:平成16年8月10日(火)

(2) 場所:関西電力(株)美浜発電所3号機タービン建屋2階

(3) 調査委員

辻川 茂男 東京大学名誉教授

(原子炉安全小委員会及び事故故障対策WG)

宮 健三 慶應義塾大学大学院理工学研究科教授

(原子炉安全小委員会及び事故故障対策WG)

(4) 調査状況

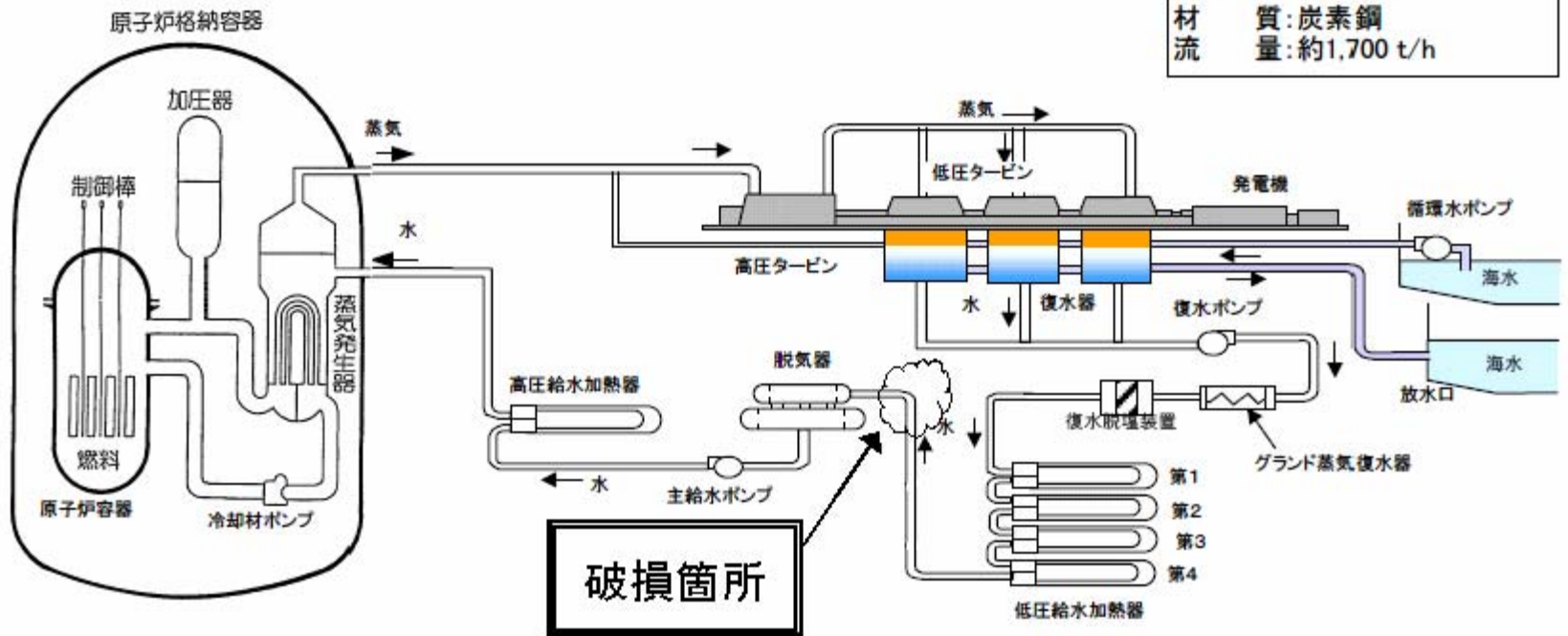
12:50 ~ 13:30 関西電力(株)からの説明

13:30 ~ 14:00 現場確認

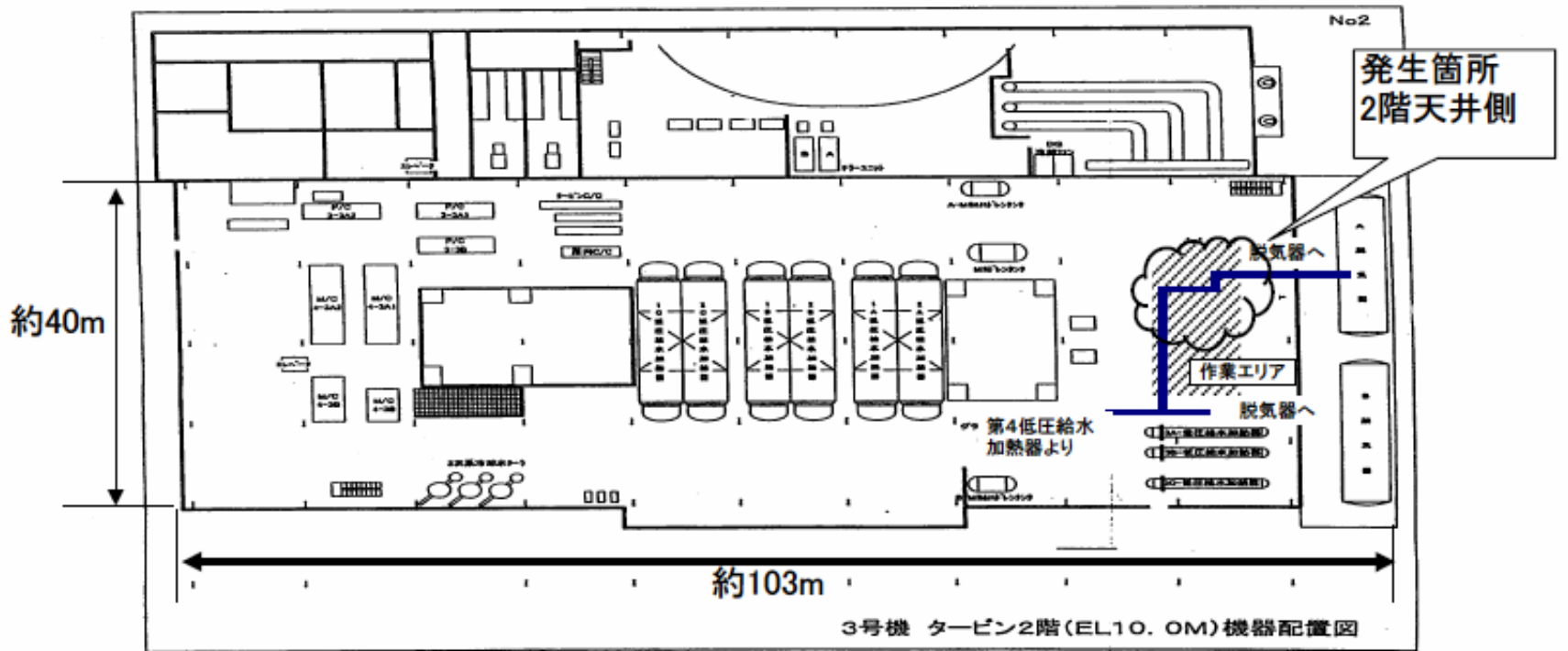
概略系統図

概略系統図

[復水配管]
 外 径: 約560mm
 厚 さ: 約10mm
 最高内圧: 約1.27 MPa
 最高温度: 約195 °C
 材 質: 炭素鋼
 流 量: 約1,700 t/h



タービン建屋2階(EL10.0M)機器配置図



復水配管のオリフィス下流側からオリフィス方向へ見た右外側破断面(a方向から撮影)



復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向 へ見た左周方向破断面 (b方向から撮影)



残留水

復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向へ見た左周方向内側破断面(c方向から撮影)



復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向 へ見た右内側破断面(d方向から撮影)

サポート部



復水配管のオリフィス下流側からオリフィス方向 へ見た左軸方向内側破断面(拡大図) (e方向から撮影)



復水配管のオリフィス下流側から脱気器方向へ見た右軸方向内側破断面 (f方向から撮影)



両委員からの今後の課題としてのコメント

- (1) 関西電力(株)の「減肉に対する管理方式」
- (2) 同様な事故である米国サリー原発の教訓をどう反映していたのか
- (3) オリフィスによる流況の乱れと減肉率の関係
(エロージョン・コロージョン)
- (4) 28年間無検査であったことの説明
- (5) 今後の検査の在り方の検討の必要性
- (6) その時の検討の視点
- (7) 破口状況の説明(応力解析)
- (8) パイプラインのガスによる破損実績の文献調査(バルジ効果)
- (9) 水平展開の必要性の検討

美浜発電所 3 号機の破損箇所に係るこれまでの検査実施状況

平成16年8月11日
原子力安全・保安院

原子力発電所の運転段階では、電気事業法等に基づき、設備の重要度を考慮して、国による定期検査等、事業者による定期事業者検査（昨年10月以前は事業者による自主検査）が実施されている。

当該破損箇所は、PWRの2次系配管であり、事業者が管理指針（「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（平成2年5月制定）」）を定め、自主的に点検（肉厚測定）を行うこととなっている。

また、当該破損箇所には、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」が準用（具体的には、「発電用火力設備の技術基準の解釈」が適用）されている。同解釈に規定されている日本工業規格 JIS B 8201（1995）「陸用鋼製ボイラー構造」の計算式により求められる当該配管の必要肉厚は4.7mmとなる。

関西電力による検査の状況

破損箇所を含む2次系配管については、米国サリー原子力発電所における配管破損事故（昭和61年12月）を受け、事業者が上記管理指針を定め、自主的に点検（肉厚測定）を行ってきた。なお、当該管理指針については、当時の資源エネルギー庁へ事業者から提出されている。

関西電力によれば、美浜発電所3号機においても当該管理指針に基づき自主点検を行ってきたとしているが、破損部位については管理指針では点検対象範囲として定められていたものの、管理指針策定以前も含めてこれまで一度も点検を行っていないとのこと。

また、関西電力は、美浜発電所3号機の定期安全レビュー報告書（平成12年5月）において、「我が国では、減肉の予想される蒸気・水の二相流配管はもとより、給水・復水配管についても、曲管部、合流・分岐部を中心に昭和60年頃からPWR点検計画として計画的な肉厚測定が行われており、当時、特に異常な減肉を示している部分は認められなかった。（中略）PWR点検計画は、各ユニットの膨大な箇所の肉厚測定を数年間で実施するものであり、現在は、より合理的な点検基準を策定し運用している」と記載している。

我が国における配管減肉に関する対応の経緯

平成 16 年 8 月 11 日

原子力安全・保安院

1. サリー原子力発電所 2 号機の事故状況と原因

(1) 事故状況

米国サリー原子力発電所 2 号機（加圧水型、定格出力 81.1 万 kW、1973 年運開）は、定格出力運転中のところ、1986 年 12 月 9 日、蒸気発生器の主蒸気隔離弁が閉止し、原子炉がトリップした。

原子炉トリップ後、タービン建屋にある二次系の給水ポンプ入口配管（炭素鋼、口径 450 mm）が破断した。このため、作業員 8 名が火傷し、うち 4 名が死亡した。

米国原子力規制委員会の調査によれば、配管の破断は、破断部付近の配管内面が著しく減肉しており、原子炉トリップ後の二次系の通常起こりえる圧力変動に耐えられなかったため発生したものである。

(2) 減肉の原因

配管内面の著しい減肉は、当該破断部の配管組合せ形状（分岐管と曲管）による流れの影響、流体温度（100 ～ 200）、水質管理の問題等の悪条件が重なったことによる腐食・浸食作用によって生じたものとされている。

破断部の減肉状況は、次のとおり。

公称肉厚	12.7mm
設計必要肉厚	9.2mm(破裂限界肉厚 2.3mm)
エルボ全体の平均的な減肉状況	3mm ~ 9.9mm
局所的な減肉部	1.2mm

2. サリー事故当時の我が国の減肉管理の状況と事故後の措置

(1) 減肉管理の状況

二次系配管及び給・復水系配管についても、曲管部等を主体に一次系配管の点検に準じた頻度で事業者による自主的な肉厚測定を実施。

徹底した水質管理を実施。

給水・復水配管については、異常な減肉傾向が認められない。
蒸気タービンの抽気管等二相流部の曲管は、特に入念な点検が行われ、
5～8割の箇所を耐腐食性等に優れた配管材料に取替え。

(2) 事故後の措置

念のため、減肉傾向を詳細に把握するため、PWR については昭和60年から実施されている PWR プラントの拡大点検計画を継続し、BWR については代表プラントを選定して詳細点検を行う。

(3) 詳細点検の結果

PWR

昭和60年度から3～5年で計装配管等の小口径配管以外の主要配管の曲管等について拡大調査計画による点検を実施した。

BWR

運転時間6万時間以上のプラントの中から代表プラント（福島第一1号、浜岡1号、敦賀1号及び島根1号）を選定し3年間程度詳細点検を行った。また、その他のプラントについても、サリー事故該当部及び給水制御弁出口部等について点検を行った。

点検の結果

点検の結果を BWR と PWR で比較すると、PWR の方が多くのプラントで減肉が認められた。

3. PWR プラントの配管減肉検査の現状

PWR プラント事業者は、上記の昭和60年からの調査データを統計的に評価し、今後の PWR 2 次系配管の減肉に対する管理方法を取りまとめた標記指針を作成し、平成2年5月、当時の資源エネルギー庁公益事業部に届け出た。現在、本指針に従い、二次系配管の減肉検査を実施している。

本指針の概要は、次のとおり。

点検対象：一定の湿り度以上、温度範囲の二相流配管、一定の温度範囲の水配管等のエルボ、オリフィス下流部、曲管等の偏流発生部及び下流の配管口径の2倍の部位

点検頻度：1. 点検結果から計算上必要な肉厚になるまでの余寿命を評価し、これが2年以下になるまでに点検を再度行う。

2. 再度の点検結果から余寿命を再度評価し、これが2年を超える場合は2年以下になるまでに点検を再度行う（繰り返し）。
2年以下になる場合は耐食性材料(SUS304等)等と取り替える。
3. 減肉傾向のない偏流発生部位について、10年間に約25%の検査を行う。

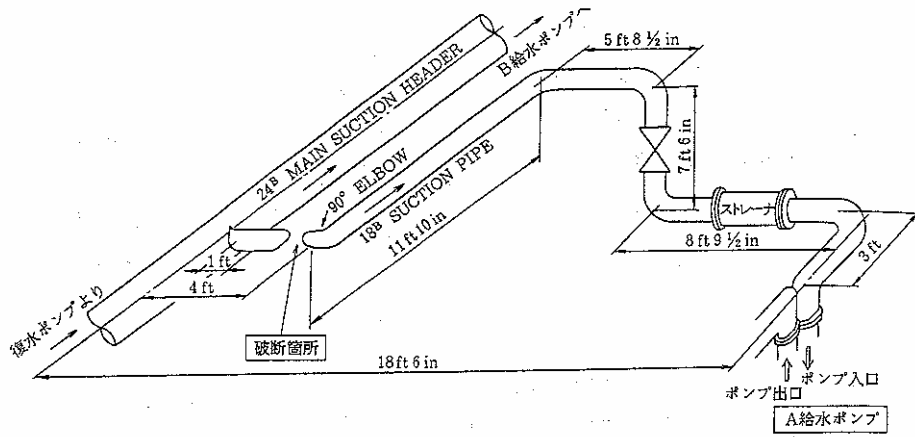
4. BWRプラントの配管減肉検査の現状

BWRプラント事業者は、各社独自で点検要領を定め、減肉検査を計画的に実施している。点検要領の例は次のとおり。

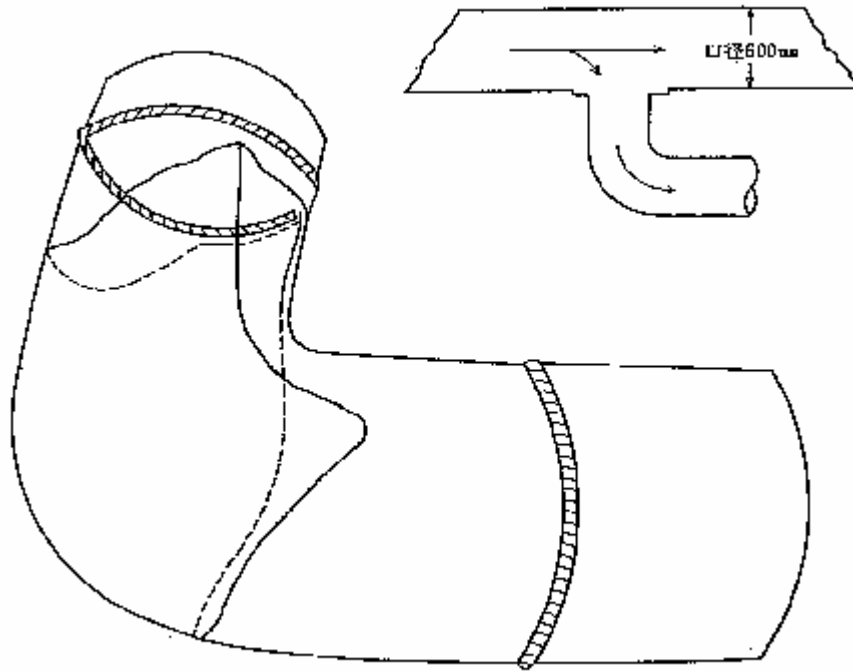
減肉管理対象：1. 二相流部は、連続流動部あるいは短期流動部のある系統を対象に箇所として配管曲がり部、絞り部などの変流部

2. 单相流動部は、基本的に流速が3m/s以上を目安とし、かつ運転温度60以上の連続あるいは短期流動部の運転状態となる系統を対象に、箇所として配管曲がり部、絞り部などの変流部

配管の点検時期：健全性保証検査(減肉の有無確認)として25%/10年とし、それに加え、それぞれ点検周期を定めて、定点管理(減肉度合の確認)、監視(減肉傾向の見つかったものの傾向監視)も合わせて行う。



破断箇所



破断状況

図 サリー原子力発電所2号機事故

原子力安全・保安院における当面の対応

平成16年8月11日
原子力安全・保安院

1．美浜発電所3号機への立入検査の実施

事故原因の究明を進めるため、電気事業法107条に基づき、美浜発電所3号機への立入検査を実施する（今週末から来週にかけ実施する予定）。

2．その他発電所への報告徴収命令による調査の実施

電気事業法106条に基づく以下の内容の報告徴収命令（文書）を、加圧水型軽水炉（PWR）、沸騰水型原子炉（BWR）、火力発電所（自家発電等を含めれば800位あり）を有する事業者に対して発する（別添1、2参照）。

- （1）二次系配管（PWR）及び給・復水系配管（BWR、火力）の減肉の可能性のある未調査部位（ステンレスは除く）の有無について、至急調査し、終了次第、当院へ報告すること。
- （2）上記（1）の調査の結果、未調査部位のあることが確認された場合には、今後の対応策について当院へ報告すること。

美浜発電所3号機2次系配管破損事故調査委員会の設置について

平成16年8月10日
経済産業省原子力安全・保安院

本日、総合エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会を開催し、関西電力株式会社美浜発電所3号機において発生した2次系配管の破損事故について調査・検討を進めるための標記調査委員会を設置した。

調査委員会の委員構成は以下のとおり。

委員長	朝田 泰英	社団法人火力原子力発電技術協会技術顧問
	小林 英男	東京工業大学大学院理工学研究科教授
	柴田 勝之	日本原子力研究所東海研究所原子炉安全工学部研究主幹
	辻川 茂男	東京大学名誉教授
	班目 春樹	東京大学原子力研究総合センター教授
	宮 健三	慶應義塾大学大学院理工学研究科教授

今後の審議の進捗状況に応じ、必要あれば委員を追加する。