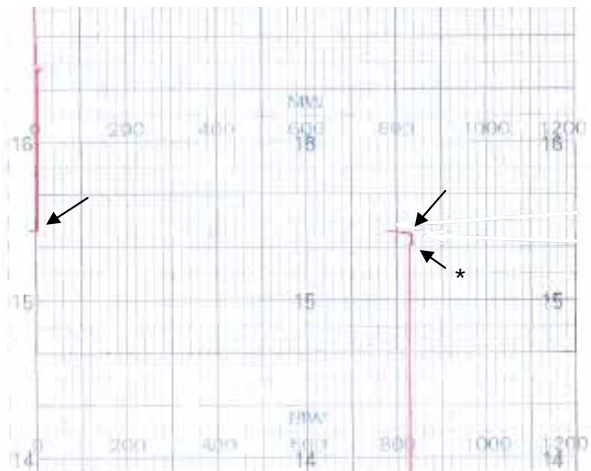


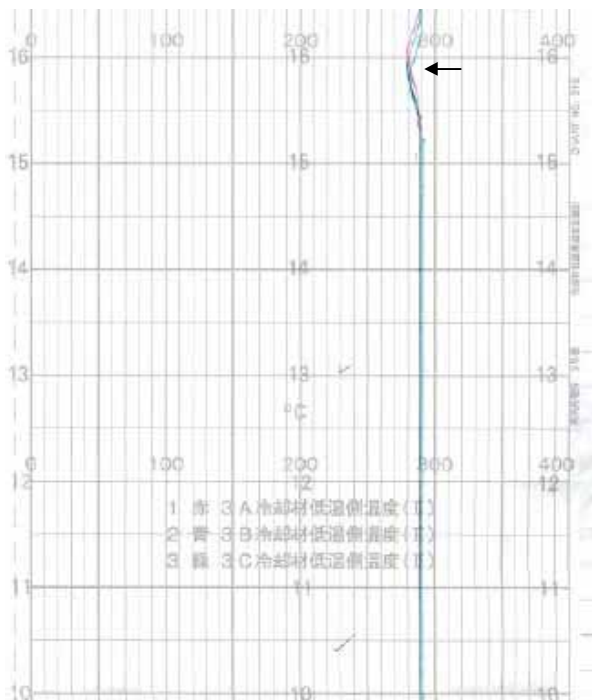
主要パラメータ挙動の解説

注：記録計時間は赤ペンを基準で調整する。

発電機出力

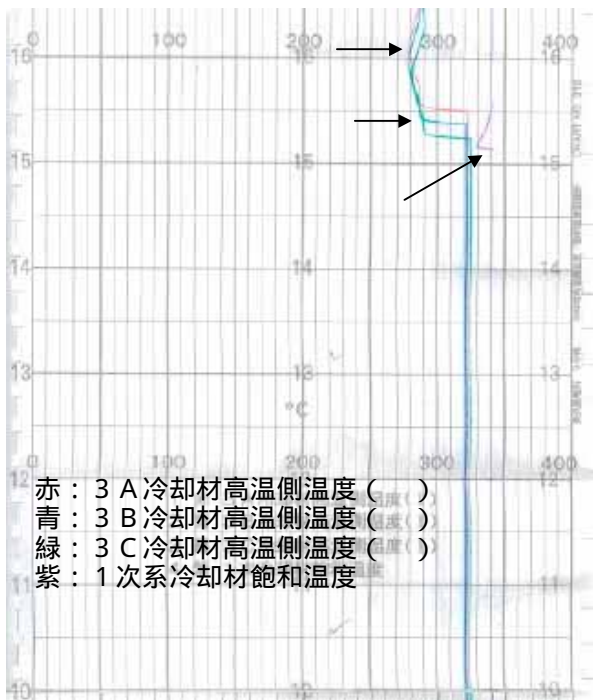


冷却材低温側温度



赤：3 A 冷却材低温側温度 ()
青：3 B 冷却材低温側温度 ()
緑：3 C 冷却材低温側温度 ()

冷却材高温側温度



赤：3 A 冷却材高温側温度 ()
青：3 B 冷却材高温側温度 ()
緑：3 C 冷却材高温側温度 ()
紫：1 次系冷却材飽和温度

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

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。

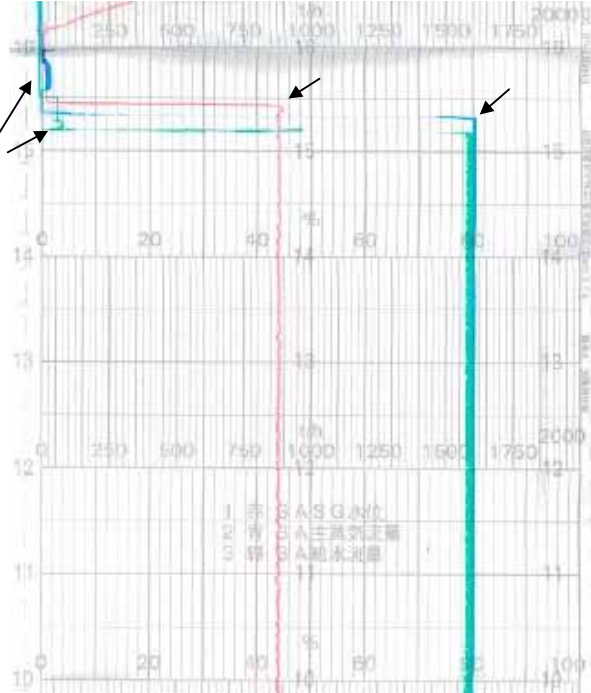
原子炉自動停止に伴う過渡状態で
冷却材低温側温度が一時的に低下し
たため、主蒸気隔離弁を閉止及びター
ビンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に
切り替え、その後286 で安定

原子炉自動停止に伴い、原子炉出力が
低下したため、1次冷却材高温側
温度が低温側温度と同等まで低下

主蒸気隔離弁閉止により、その後286
で安定

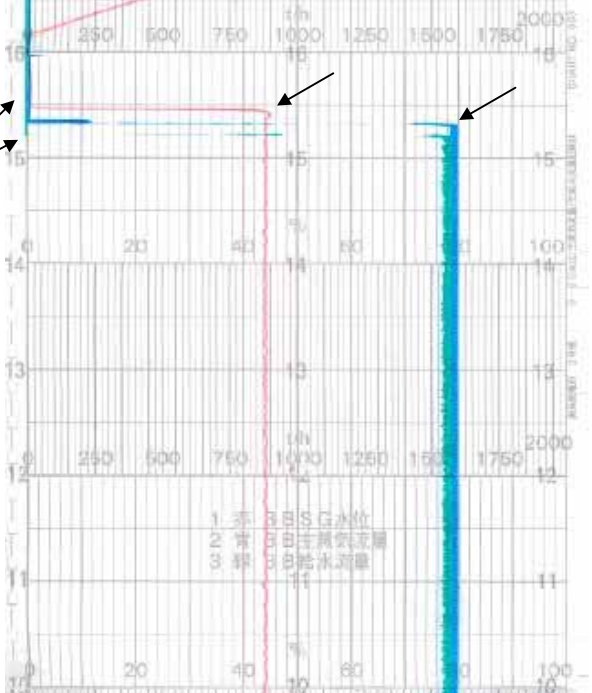
原子炉自動停止に伴う過渡変化により
1次冷却材圧力が低下したため、飽和
温度が一時的に低下

A - SG関係パラメータ



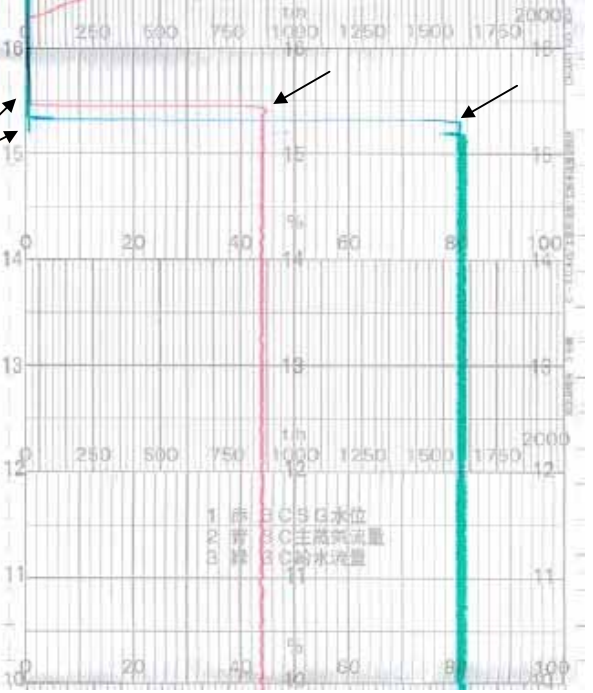
赤：3 A SG水位
青：3 A 主蒸気流量
緑：3 A 給水流量

B - SG関係パラメータ



赤：3 B SG水位
青：3 B 主蒸気流量
緑：3 B 給水流量

C - SG関係パラメータ



赤：3 C SG水位
青：3 C 主蒸気流量
緑：3 C 給水流量

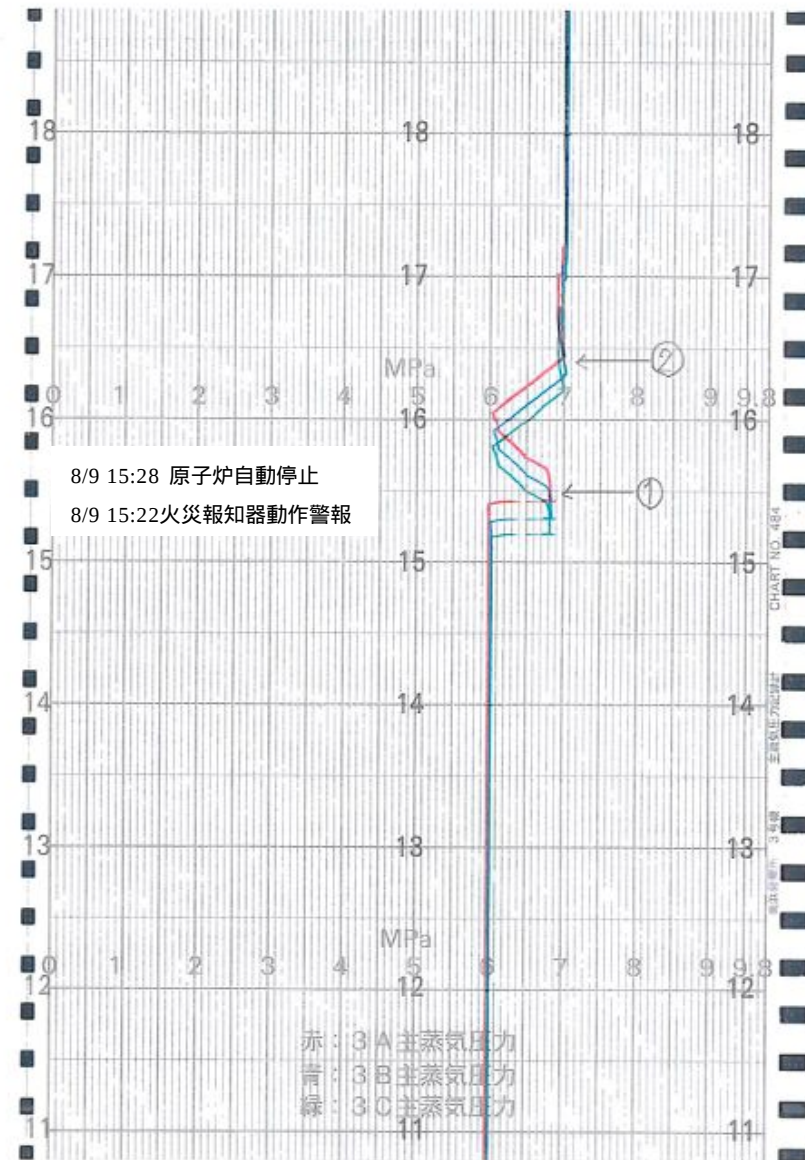
緊急負荷降下に伴い、主蒸気・主給水流量が低下開始

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

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。

主蒸気圧力

赤：3 A 主蒸気圧力
青：3 B 主蒸気圧力
緑：3 C 主蒸気圧力

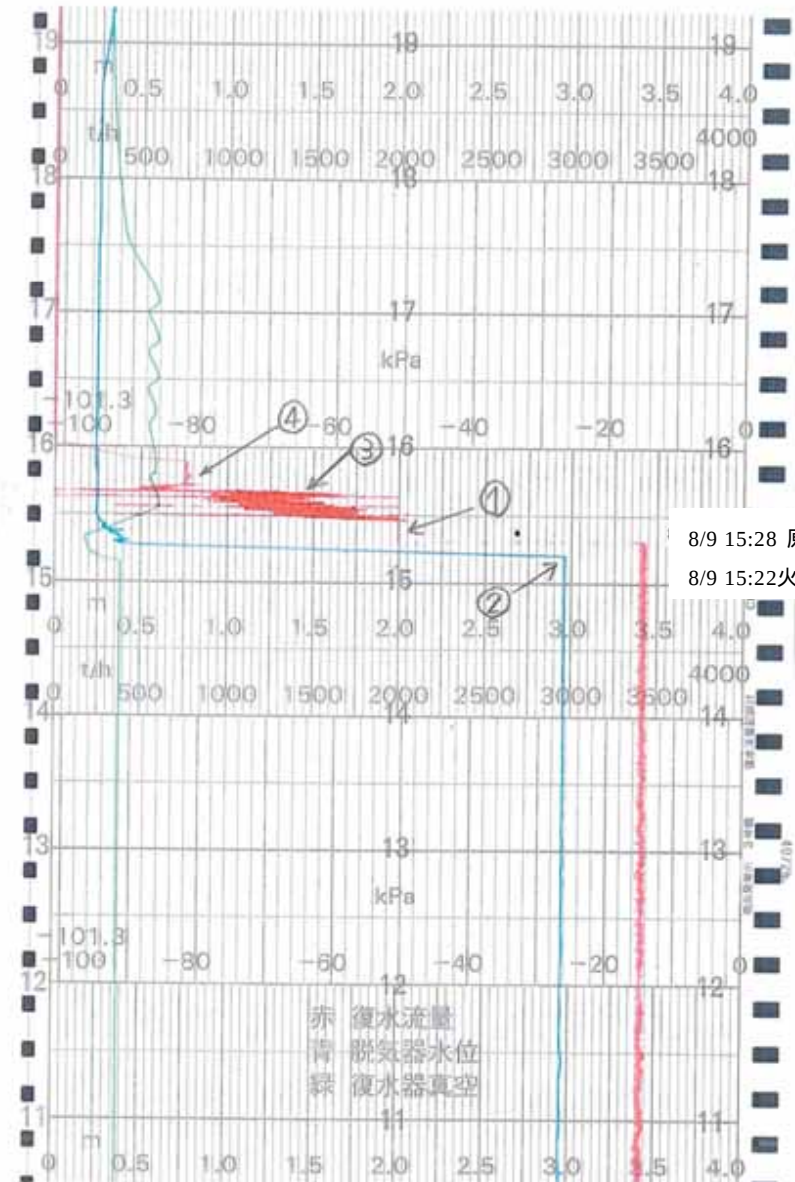


原子炉が自動停止、タービンおよび発電機が自動停止により主蒸気圧力が上昇
その後タービンバイパス弁による原子炉の低温停止操作に伴い 1 次冷却材温度の飽和圧力まで一時的に低下

タービンバイパス弁→主蒸気逃がし弁に切替
後 1 次冷却材温度 286 で安定

復水流量・脱気器水位・復水器真空

赤：復水流量
青：脱気器水位
緑：復水器真空



復水管の破口により健全側 (B 側) の流れがほぼ停止し、破口側 (A 側) のみ流れとなる。
(流量計は 2,000 t/h が測定の上限である)

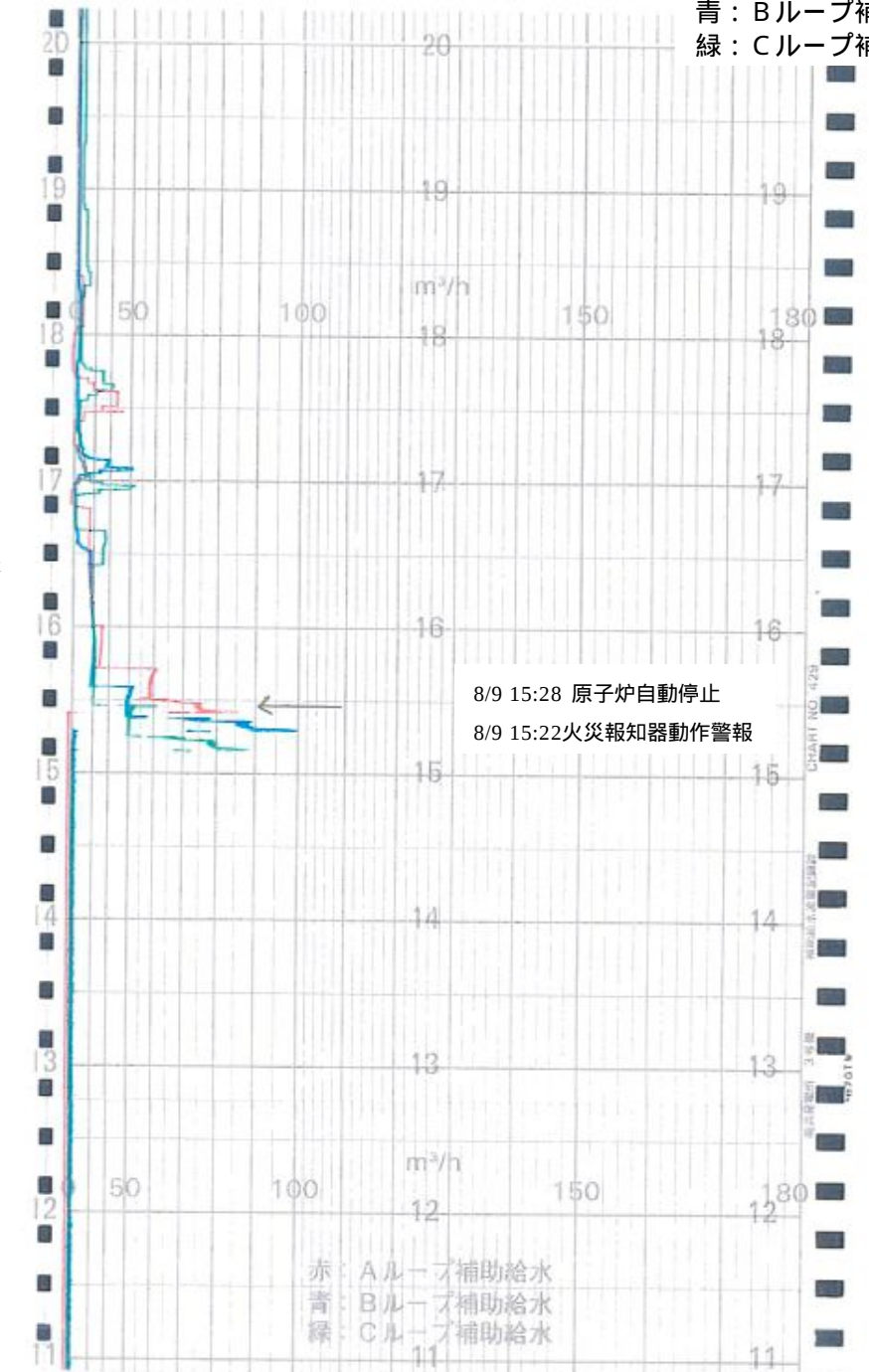
破口部からの漏れにより脱気器に復水が供給されず脱気器水位が低下

脱気器水位制御弁を「自動」→「手動」に切替えて調整を試みる。

主給水ポンプ全台停止後も脱気器水位が低下するため脱気器水位制御弁を手動にて全閉とした。

A・B・C ループ補助給水流量

赤：A ループ補助給水
青：B ループ補助給水
緑：C ループ補助給水



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給水開始

美浜 3 号機プラント状況の時系列（ 1 / 8 ）

（注 []は後に判明したものを示す）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
8 / 9 1 5 : 2 2	「火災報知器動作」警報発信	火災受信盤で タービン建屋 2 階 「 T / B 2 階取水口側階段」 「 FWP(主給水ポンプ)出口ヘッダ付近」 タービン建屋 3 階 「 T / B 3 階取水口側階段」 タービン建屋 1 階 「 A 給水ポンプ上部」 他多数警報発信	[破口部からの噴出蒸気を感じたものと考えられる]	系統状態 (通常状態)
1 5 : 2 2 1 5 : 2 3	「 3 B 直流接地」警報発信 「 3 A 直流接地」警報発信	所内盤で直流接地の警報を確認	[破口部からの蒸気が、 C - 主蒸気隔離弁 (M S - 5 3 7 C) 用電磁弁 (A、 B 直流系統から供給) に至り内部で接地した]	
		下記内容で一斉ページング放送実施 「 直流接地発生、作業関係者は中央へ連絡して下さい」 「タービン建屋火災発生」		系統状態
1 5 : 2 3		脱気器水位および復水流量低下、脱気器水位調節器 (L K - 3 2 0 3) 出力 1 0 0 % を確認	[破口部からの復水放出による] [脱気器の水位が低下したため、調節器の出力が通常約 7 0 % から 1 0 0 % となった。]	チャート集 (パラメータ変動履歴)
1 5 : 2 5		運転員がタービン建屋 3 階で蒸気が充満していることを確認	蒸気が充満し、直流接地警報が発信していること、脱気器水位の低下、復水流量変動のパラメータからプラント 2 次系 (給水管または復水管のどちらか) での漏えいの疑いがあることからプラントの停止を判断 緊急性を考え、負荷降下率は最大レート (5 % / 分)	
1 5 : 2 6	緊急負荷降下	5 % / 分での緊急負荷降下を開始		

美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 2 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
1 5 : 2 8	A・B - 主給水ポンプ自動停止 トリップ要素：主給水ブースタポンプ前後差圧低下（推定） （設定値： 0.393MPa10 秒継続）	A・B - 主給水ポンプ自動停止を確認	脱気器水位が低下し、主給水ブースタポンプキャビテーションにより主給水ブースタポンプ前後差圧低下で、給水ポンプ自動停止に至った	系統状態
	A・B - 電動補助給水ポンプ自動起動	A・B - 電動補助給水ポンプの自動起動を確認	A・B - 主給水ポンプ自動停止による自動起動	
	C - 主給水ポンプ自動起動	C - 主給水ポンプの自動起動確認は出来ていない	[B - 主給水ポンプ自動停止による自動起動] ほぼ同時に原子炉が自動停止し、その対応に当たっていた	
1 5 : 2 8	A - S G 給水 < 蒸気流量不一致による原子炉自動停止 自動停止設定値：S G 狭域水位低（25％）と給水 < 蒸気流量（312t/h）の一致	プラント自動停止状態良好確認 原 子 炉：原子炉トリップしゃ断器開 全制御棒挿入 炉外核計装出力低下 タービン：タービン各弁閉止 発 電 機：主変しゃ断器開	[給水ポンプ自動停止により、給水流量が減少し、蒸気発生器（以下「S G」という）水位が低下した]	
		給水制御弁（F C V - 4 7 8 , 4 8 8 , 4 9 8）全閉確認 原子炉トリップしゃ断器開と冷却材平均温度低（290 ）の一致で閉止	正常動作 過剰給水による R C S 過冷却防止	
	タービン動補助給水ポンプ自動起動	タービン動補助給水ポンプの自動起動を確認	S G 狭域水位異常低（ 1 3 %（ 2 / 3 チャンネルの一致 ））による自動起動	
1 5 : 3 1	C - 主給水ポンプ自動停止 自動停止要素：給水ブースタポンプ前後差圧低下 （設定値： 0.393MPa10 秒継続）	C - 主給水ポンプの自動停止確認は出来ていない	[一旦自動起動したが、主給水ブースタポンプ前後差圧低下で自動停止した] 原子炉自動停止後の対応にあたっていたため	
1 5 : 3 2		タービン動補助給水ライン流量制御弁（H C V - 3 1 2 0 , 3 1 2 1 , 3 1 2 2）を閉止	1 次冷却材温度低下防止のための補助給水流量調整 A： 約 7 5 → 約 6 0 m ³ / h B： 約 8 5 → 約 5 0 m ³ / h C： 約 8 0 → 約 5 0 m ³ / h	

美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 3 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
1 5 : 3 5	原子炉高温停止状態	以下のプラントパラメータにより原子炉の高温停止状態安定を確認 R C S 圧 力 : 1 4 MPa (回復中) 1 次冷却材温度 : 2 8 6 加 圧 器 水 位 : 2 2 % 主 蒸 気 圧 力 : 6 . 8 MPa S G 水 位 : 狭域 A ・ B ・ C 共 0 % 以下 広域 A 4 8 % B ・ C 5 3 %	補助給水流量が確保されており、全 S G の広域水位が上昇傾向であった	系統状態
1 5 : 4 4		脱気器水位制御弁 (L C V - 3 2 0 2) 閉止	脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統水が沸騰しているのではないかと懸念し閉止した	系統状態 チャート集 (パラメータ値の経緯)
1 5 : 4 5	脱気器の水位がほぼ 0 % 1 次冷却材温度が緩やかな低下傾向	1 次冷却材温度約 2 8 6 から緩やかに低下しているのを確認		チャート集 (パラメータ値の経緯)
1 5 : 4 9		復水器真空調整操作による A ・ B - 復水器真空ポンプ自動起動を確認 設定値 : 復水器真空 88kPa	復水器真空調整時の通常確認行為	
1 5 : 5 3	タービン建屋 2、3 階に充満している蒸気量減少	運転員がタービン建屋 2、3 階の蒸気量が減少していることを確認	2 次系の漏えいが減少していることを認識した	
1 5 : 5 8		脱気器加熱蒸気弁 (P C V - 3 3 0 1) 閉止	脱気器加熱蒸気弁 (P C V - 3 3 0 1) は負荷急減により自動開となる正常動作であるが、1 次冷却材温度が低下傾向であるため、主蒸気管より蒸気を取り出している同弁閉止操作を実施	
		原子炉運転モード 5 (1 次冷却材温度 9 3 以下の低温停止) のほう素濃度 9 9 0 p p m 以上を目標に、1 次冷却材ほう素濃縮開始	通常操作 原子炉停止余裕の確保	
1 6 : 0 0		R C S 脱ガス開始 (体積制御タンクカバーガス H ₂ →N ₂ 切替)	通常操作 R C S 溶存水素低減	
1 6 : 0 5	主蒸気隔離	A ・ B ・ C - 主蒸気隔離弁 (M S - 5 3 7 A , B , C) を閉止	脱気器加熱蒸気弁 (P C V - 3 3 0 1) 閉止により 1 次冷却材温度の低下は止まったが、1 次冷却材温度上昇が見られなかったことにより実施 (1 次冷却材温度チャートから 約 2 8 0)	系統状態 (パラメータ値の経緯)
		タービンバイパス弁 (T C V - 4 0 8 A , B , C , D) から主蒸気逃がし弁 (P C V - 3 0 1 3 , 3 0 1 4 , 3 0 1 5) に切替	通常操作 主蒸気隔離時の S G の蒸気放出経路の切替	

美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 4 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
1 6 : 2 0		タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気へ切替	通常操作 タービングランド蒸気源を確保するための切替	
1 6 : 2 6	主給水隔離弁閉止	A・B・C - 主給水隔離弁 (F W - 5 2 0 A , B , C) を閉止	主給水ラインのバウンダリ強化 (補助給水系・S G からの漏えい箇所への逆流防止)	系統状態
1 6 : 5 5	S G 狭域水位が通常無負荷水位 設定値 : 3 3 %	S G 狭域水位が、ほぼ通常無負荷水位に回復を確認		
1 7 : 0 0		A・B・C - S G ブロー再開	電動補助給水ポンプ自動起動により停止していたものを S G 器内水水質調整のため再開	
1 7 : 1 2		タービン動補助給水ポンプ停止	S G 水位が回復し、電動補助給水ポンプで原子炉残留熱除去が十分可能となったため (S G 水位チャートから A : 3 0 %、 B : 3 9 %、 C : 3 1 %)	系統状態
		A・B・C - 補助給水流量制御弁 (H C V - 3 1 2 0 , 3 1 2 1 , 3 1 2 2) を全閉から約 6 0 % まで開操作	タービン動補助給水ポンプ自動待機状態確立のため	
1 7 : 1 3	A・C - 補助給水流量制御弁 (H C V - 3 1 2 0 , 3 1 2 2) 開操作するも開放せず			
1 7 : 3 0	破口箇所の確認	運転員の現地点検結果、4 低圧給水ヒータから脱気器への復水配管に破口部を確認		
1 7 : 4 5		A - 復水器真空ポンプ停止	復水器真空調整終了による停止	
1 7 : 5 4		B - 復水器真空ポンプ停止	復水器真空調整終了による停止	
1 7 : 5 7 ~ 1 8 : 1 1		復水脱塩塔バイパス操作	復水脱塩塔を使用しないためバイパス操作を実施	
1 8 : 0 4		4 A・B・C 低圧給水ヒータ出口弁 (C W - 0 1 6 A , B , C) 閉止	} バウンダリの強化による破口部からの漏えい防止	系統状態
1 8 : 0 5		1 A・B・C 低圧給水ヒータ入口弁 (C W - 0 1 5 A , B , C) 閉止		

美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 5 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
1 8 : 3 0		機械保修課員立会のもと開閉確認実施 A・C - 補助給水流量制御弁（H C V - 3 1 2 0 , 3 1 2 2）開動作不能確認	保安規定第 6 6 条 運転上の制限を満足していないと判断（ 1 8 : 3 8 ） A・C - 補助給水流量制御弁（H C V - 3 1 2 0、3 1 2 2）開動作不能から、モード 1、2 および 3 において、補助給水系 3 系統運転可能要求に に対して、タービン動補助給水ポンプ 1 系統が動作不能であると判断	
1 9 : 0 0 ～ 1 9 : 3 0		A・B - 電動補助給水ポンプ運転状態確認	保安規定第 6 6 条に基づき要求される措置 残りの 2 系統のポンプ（電動補助給水ポンプ）が動作可能であることの確認 要求により、運転中の A・B - 電動補助給水ポンプの運転状態に異常の ないことを確認	
1 9 : 2 0		原子炉停止後の点検（格納容器内を除く 1 次系）完了		
2 1 : 1 5		1 次冷却材ほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作 原子炉停止余裕の確認 分析結果 1 , 3 3 6 p p m	
2 1 : 3 0		加圧器ほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作 原子炉停止余裕の確認 分析結果 1 , 1 1 4 p p m	
2 1 : 3 5	原子炉運転モード 5（1 次冷却材温度 9 3 以下の 低温停止）ほう素濃度 9 9 0 p p m 以上を満足	技術課通知文書で指定された冷却可能なほう素濃度になったことを確認	通常操作 原子炉停止余裕の確認	
2 2 : 5 6	原子炉リセット	原子炉トリップしゃ断器の投入	通常操作 停止用および制御用制御棒を引抜く	
2 3 : 0 0 ～ 2 3 : 0 9		停止用および制御用制御棒引抜 停止用：0 ステップ → 2 2 8 ステップ 制御用：0 ステップ → 5 ステップ	通常操作 停止余裕確保と、R C S 冷却による温度変化で生じる制御棒駆 動軸とラッチアームとの干渉による拘束を防ぐ	
2 3 : 3 0	R C S 冷却開始（1 次冷却材温度 2 8 6 、R C S 圧力 1 5 . 4 M P a より）	B - 1 次冷却材ポンプ停止	通常操作 R C S の加熱源を減少させる	
2 3 : 5 3	主蒸気ライン安全注入動作阻止 設定値：1 次冷却材温度 2 8 4	主蒸気ライン安全注入動作阻止スイッチを 「ブロック」	通常操作 R C S 冷却に伴う安全注入の動作阻止	

美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 6 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
8 / 1 0 0 0 : 2 3	加圧器安全注入動作阻止 設定値：R C S 圧力 1 3 . 7 9 M P a	加圧器安全注入動作阻止スイッチを 「ブロック」	通常操作 R C S 冷却に伴う安全注入の動作阻止	
0 0 : 2 5 ～ 0 0 : 5 6		ほう酸タンク切替 B → A	通常操作 1 次冷却材ほう素濃縮操作用水確保	
0 1 : 0 4	格納容器パージ開始 開始条件 ・原子炉停止後 2 時間以上経過 ・原子炉運転モード 3（1 次冷却材温度 1 7 7 未満）ほう素濃度以上にほう素濃縮が完了し ている ・放射線管理課長による格納容器パージ（以下 「C / V パージ」という）許可が出ている ・中央監視型モニタポストが監視可能である ・気象条件（風向、風速）	格納容器送気隔離弁（V - 6 6 1 5、6 6 1 6）・排気隔離弁（V - 6 6 0 4、6 7 0 6） の開・閉確認	通常操作 原子炉停止後の格納容器内点検	
0 1 : 3 0		原子炉停止後の点検（2 次系）完了	破口部からの漏えいが停止し、2 次災害発生の可能性がなくなったことから 点検実施	
0 1 : 3 4		A - 格納容器送・排気ファン起動	通常操作 C / V パージ操作	
0 1 : 4 2		B - 格納容器送・排気ファン起動		
0 2 : 0 0 ～ 0 2 : 2 0		A・B - 電動補助給水ポンプ運転状態確認	保安規定第 6 6 条に基づき要求される措置 残りの 2 系統のポンプ（電動補助給水ポンプ）が動作可能であることの確 認要求により、運転中の A・B - 電動補助給水ポンプの運転状態に異常の ないことを確認	
0 3 : 1 7	アキュムレータ出口電動弁閉止 R C S 圧力 6 . 8 M P a	A・B・C - アキュムレータ出口電動弁 （MOV - 8 8 0 8 A、B、C）閉止	通常操作 R C S 冷却に伴う R C S へのアキュムレータ水注入 防止	
0 4 : 0 1		抽出水オリフィス隔離弁（A O V - 8 1 4 9 C）開放	通常操作 R C S 冷却に伴う R C S 圧力低下による抽出水流量 確保	
0 4 : 0 7		B - 1 次系冷却水ポンプ追加起動	通常操作 R C S 冷却に伴う余熱除去系（以下「R H R S」という）使用 準備	
		1 次冷却材ほう素濃縮操作終了	1 次冷却材ほう素濃縮は燃料取替ほう素濃度（2 , 2 0 0 p p m 以上）を目 標に実施	

美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 7 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
0 4 : 3 0		R C S ループほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作 燃料取替ほう素濃度（ 2 , 2 0 0 p p m 以上 ）の確認 分析結果 2 , 6 6 5 p p m	
0 4 : 4 2	C / V パージ完了 判断目安 格納容器ガス濃度が 7×10^{-2} Bq/cm ³ 以下		パージ開始前の格納容器ガス濃度が 7×10^{-2} Bq/cm ³ 以下であったため、3 時間実施で完了と判断	
0 4 : 5 5		加圧器ほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作 燃料取替ほう素濃度（ 2 , 2 0 0 p p m 以上 ）の確認 分析結果 2 , 5 6 6 p p m	
0 5 : 5 5	原子炉運転モード 3（ 1 次冷却材温度 1 7 7 以上 ） → 4（ 1 次冷却材温度 9 3 超 1 7 7 未満 ） 1 次冷却材温度 1 7 6	1 次冷却材温度 1 7 6 を確認	保安規定第 6 6 条（補助給水系）運転上の制限は適用モード外に移行 モード 4 に移行したので、このモードでの運転上の制限は、電動補助給水 ポンプ 1 系統以上が動作可能要求なので、タービン動補助給水ポンプは 運転上の制限の適用除外になった	
0 6 : 3 2	タービン動補助給水ポンプ待機除外	タービン動補助給水ポンプ蒸気出し弁 （ A S - 0 1 1 A、 B ）を閉止	通常操作 自動起動による 1 次冷却材温度低下防止	
0 6 : 3 6	B・C - 充てん / 高圧注入ポンプ待機除外	B・C - 充てん / 高圧注入ポンプコントロー ルスイッチ「プルアウト」	通常操作 R C S 冷却に伴う R C S 低温過加圧防止	
0 9 : 5 0		原子炉停止後の点検（格納容器内）完了		
1 1 : 0 2	B - R H R S ウォーミング 1 次冷却材温度 1 6 5	B - R H R P 吸込切替 燃料取替用水タンク → R C S ループ B - R H R P 起動 B - R H R S のウォーミング	通常操作 B - R H R S 使用準備（熱応力発生防止）	
1 2 : 4 0	B - R H R S 使用開始 1 次冷却材温度 1 6 0	B - R H R P 出口を R C S ループと接続	通常操作 R H R S での冷却開始、これ以降 R H R S での冷却	
1 2 : 4 1		B - 電動補助給水ポンプ停止	通常操作 R H R S 使用開始による R C S 冷却手段が確保できたため停止	
1 3 : 0 0		加圧器満水操作開始	通常操作 加圧器の冷却	
1 3 : 1 1	A - R H R S ウォーミング 1 次冷却材温度 1 6 2	A - R H R P 吸込切替 燃料取替用水タンク → R C S ループ A - R H R P 起動 A - R H R S のウォーミング	通常操作 A - R H R S 使用準備（熱応力発生防止）	

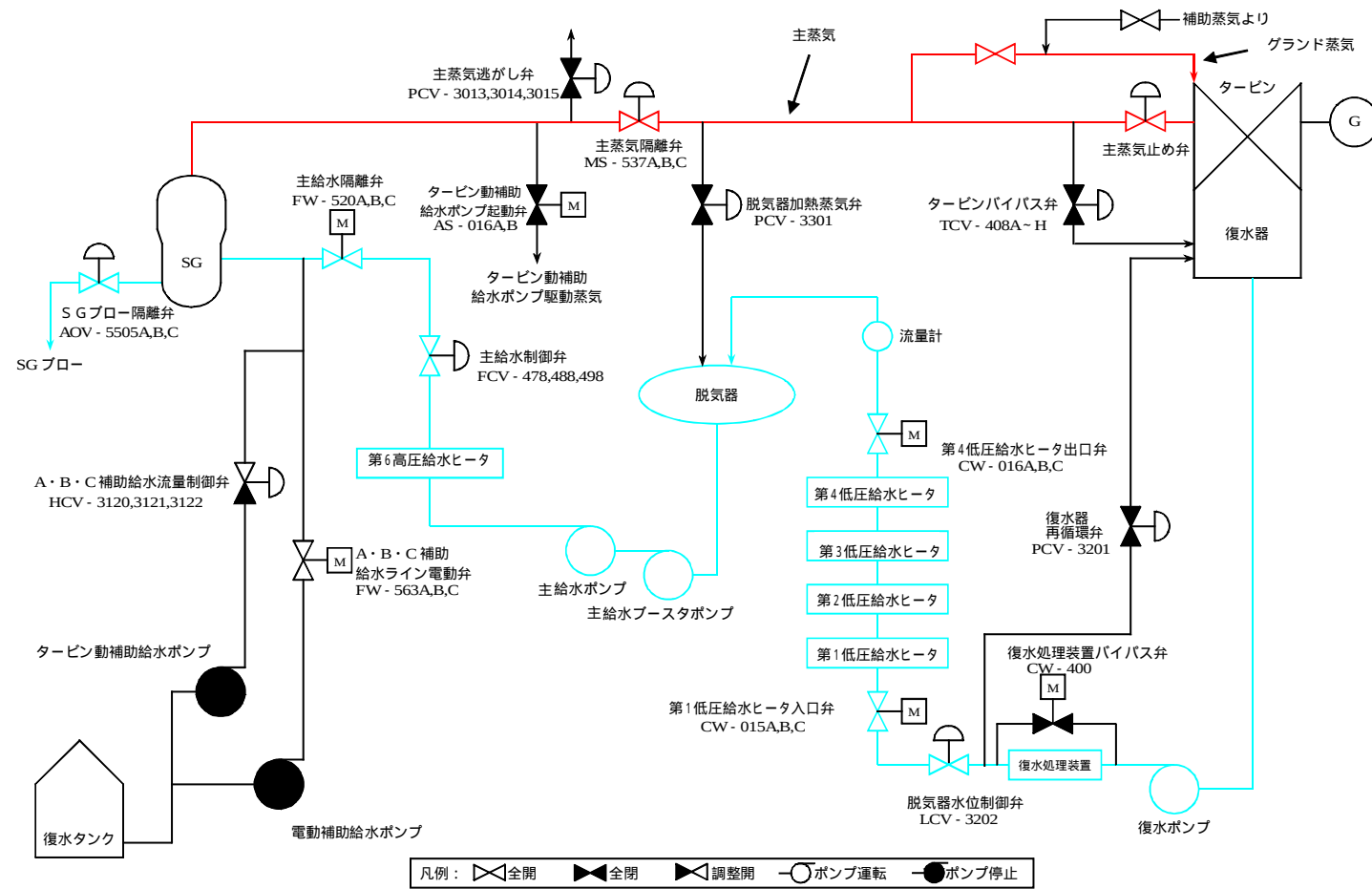
美浜 3 号機プラント状況の時系列 （ 8 / 8 ）

時 刻	プ ラ ン ト の 状 況	対応操作・確認等の内容	補 足 説 明	参考資料
1 4 : 1 5	A - R H R S 使用開始 1 次冷却材温度 1 6 1	A - R H R P 出口を R C S ループと接続	通常操作 B - R H R S と併用しての冷却	
1 4 : 5 5	加圧器満水		加圧器の気相部が消滅	
1 6 : 3 4	1 次冷却材温度 1 4 0	1 次冷却材温度 1 4 0 を確認		
1 6 : 3 4 ～ 1 6 : 3 5		低温時過加圧防止設備 R C S 温度低 P C V - 4 4 5、4 4 4 A モード選択スイッチ 「通常」→「低圧」	通常操作 R C S 冷却に伴う R C S 低温過加圧防止	
1 8 : 0 8	1 次冷却材温度 1 1 5	原子炉トリップしゃ断器開放	通常操作 制御棒全挿入	
1 8 : 1 5		C - 1 次冷却材ポンプ停止 (A - 1 次冷却材ポンプのみ運転継続)	通常操作 R C S の加熱源を減少させる	
1 9 : 0 5	低温停止状態 原子炉運転モード 4 (1 次冷却材温度 9 3 超 1 7 7 未満) → 5 (1 次冷却材温度 9 3 以下)	1 次冷却材温度 9 2 を確認		
1 9 : 2 7 ～ 1 9 : 3 0		安全注入、内部スプレ信号ブロック	通常操作 誤信号発信防止	
2 0 : 0 0 ～ 2 0 : 1 0	内部スプレポンプ待機除外	A ・ B ・ C ・ D - 内部スプレポンプコントロ ールスイッチ「プルアウト」	通常操作 内部スプレポンプの誤起動防止	
2 3 : 4 5	1 次冷却材温度 6 0 到達 R C S 圧力 2 . 7 Mpa	R H R S で 1 次冷却材温度を 6 0 で保持		

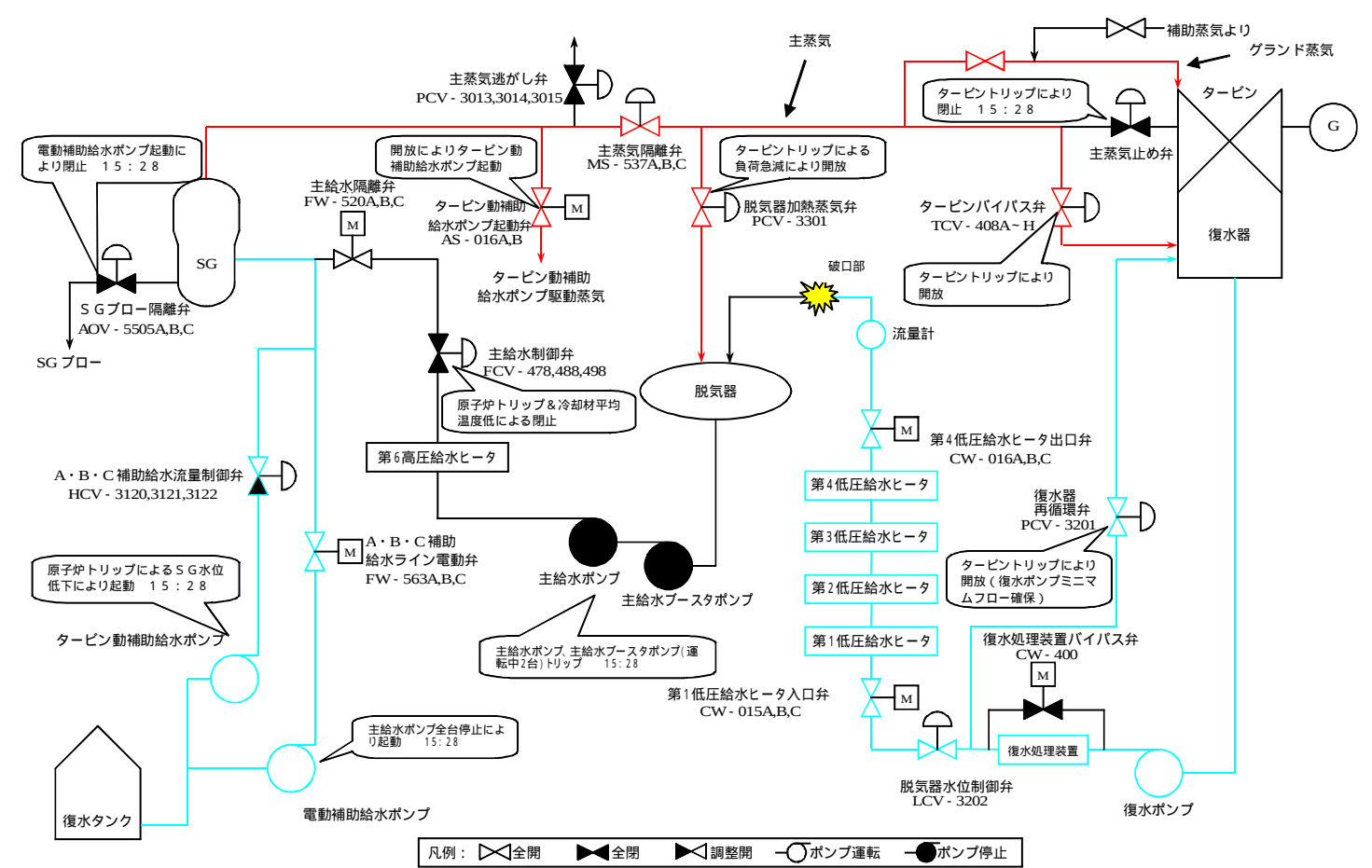
美浜 3 号機 2 次系配管破損事故時のプラント系統状態

添付資料 3 - 3 (1 / 2)

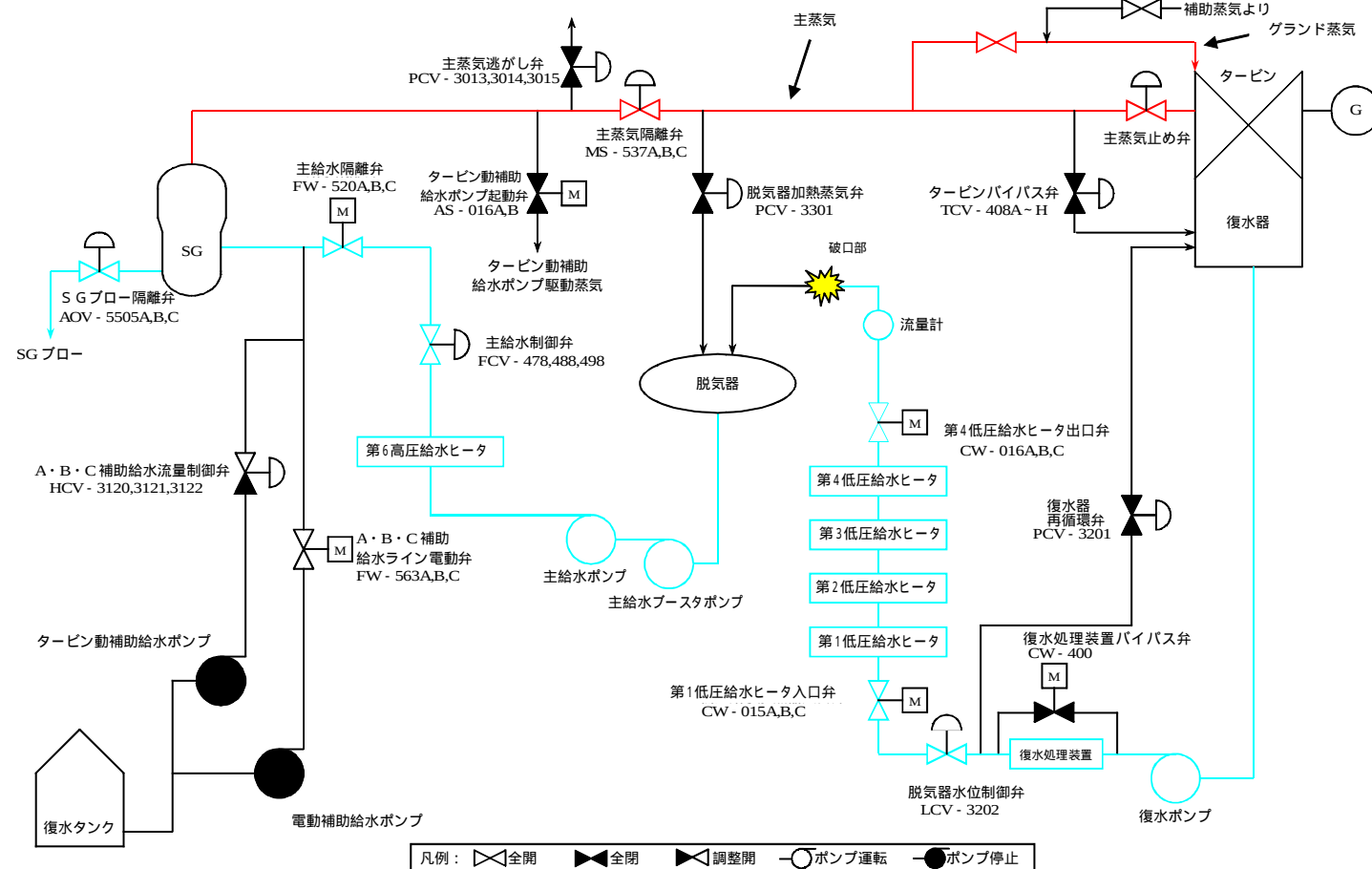
通常運転状態



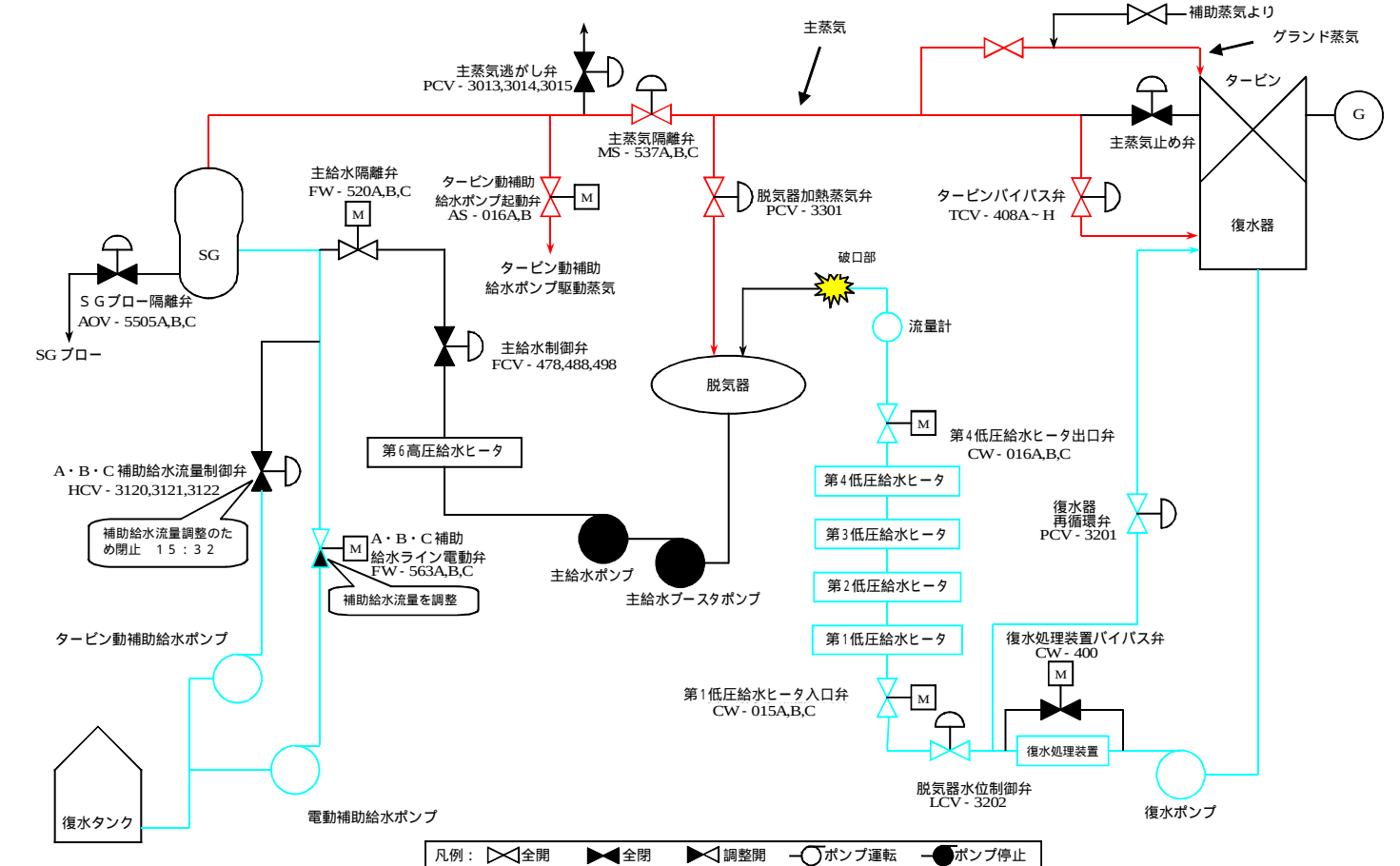
15 : 28 「原子炉自動停止」および「給水ポンプ自動停止」



「配管破損発生」
(15 : 22 火災報知器動作警報発信時)



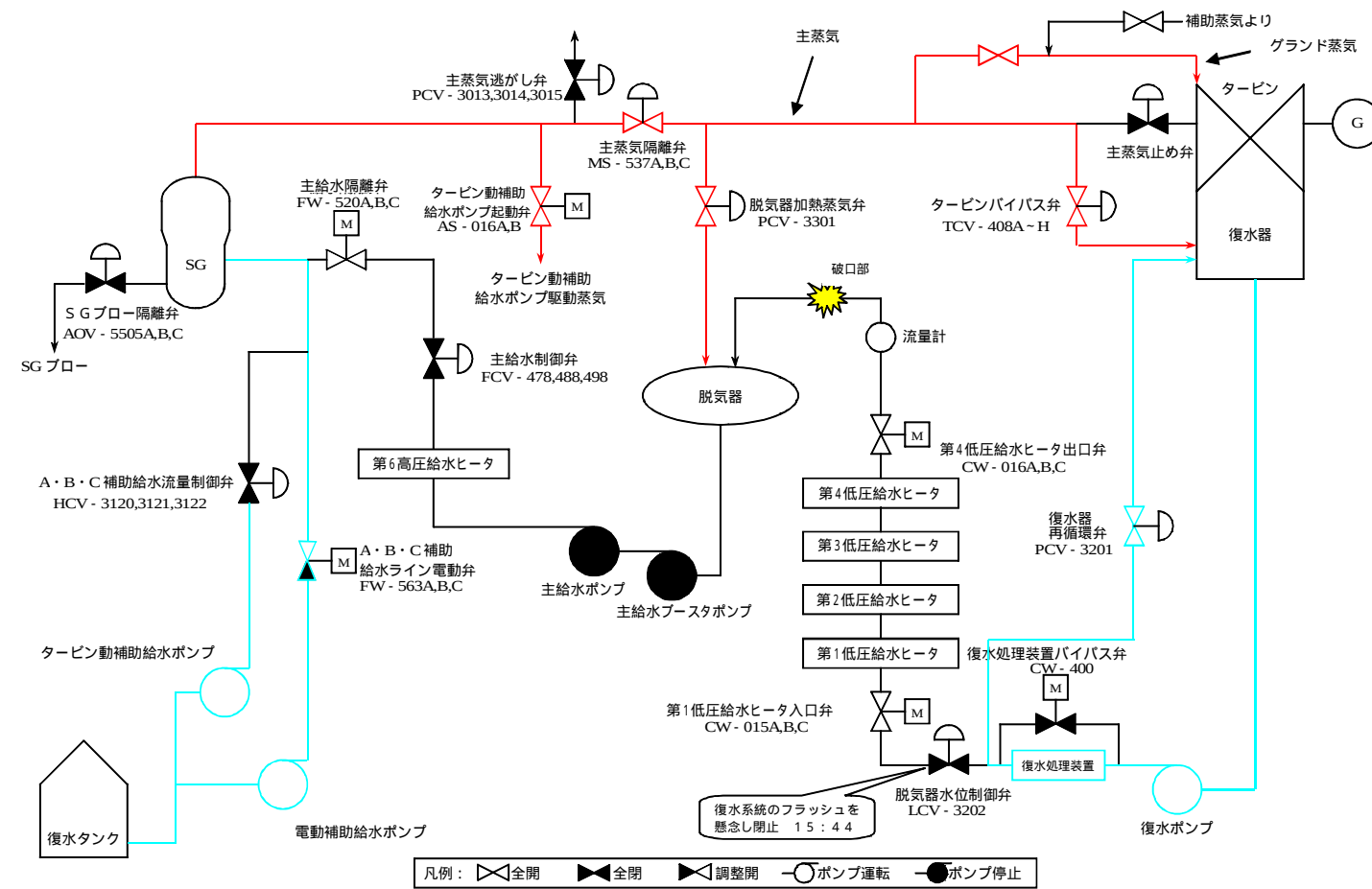
15 : 35 「原子炉高温停止状態」



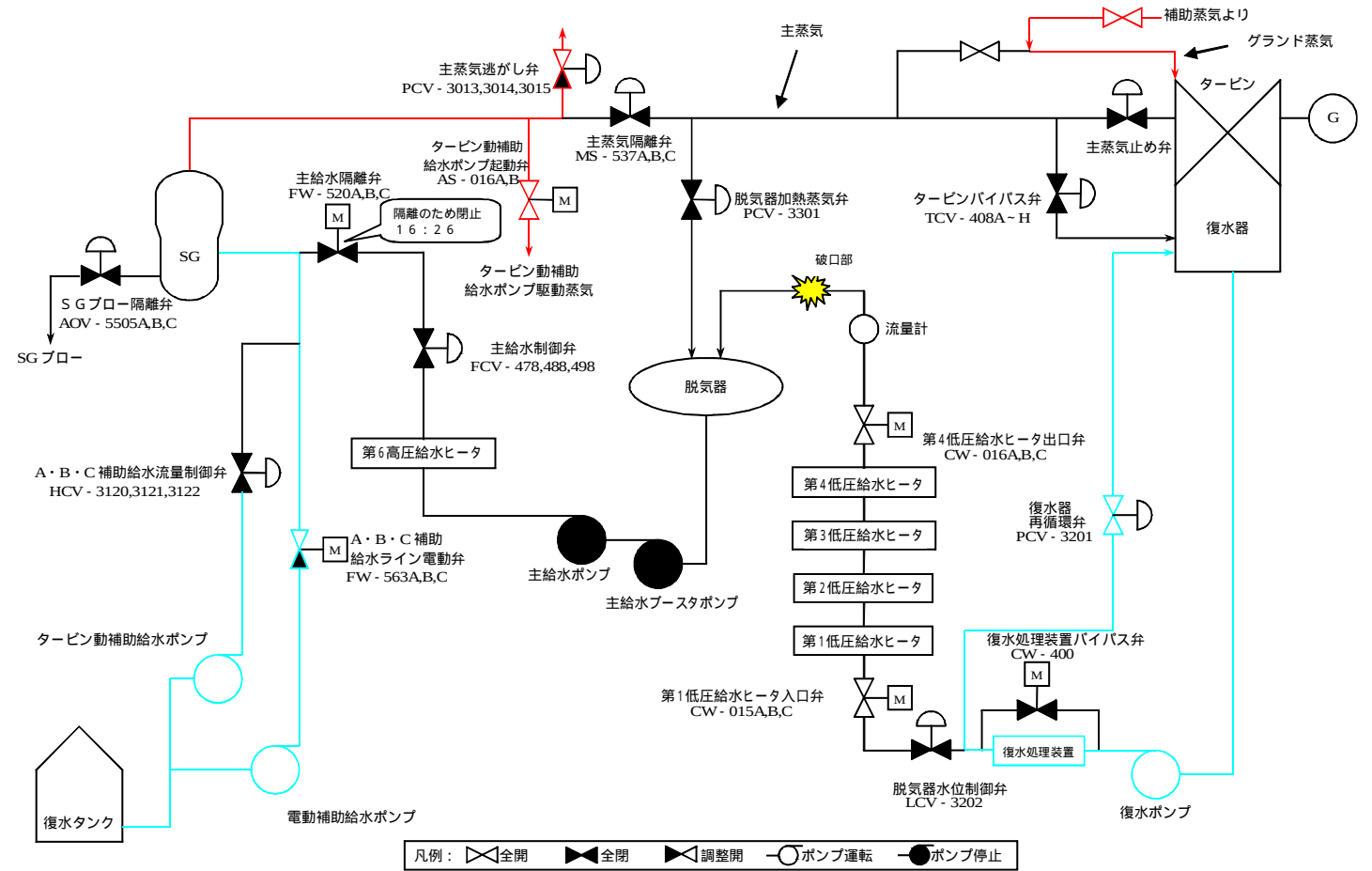
美浜 3 号機 2 次系配管破損事故時のプラント系統状態

添付資料 3 - 3 (2 / 2)

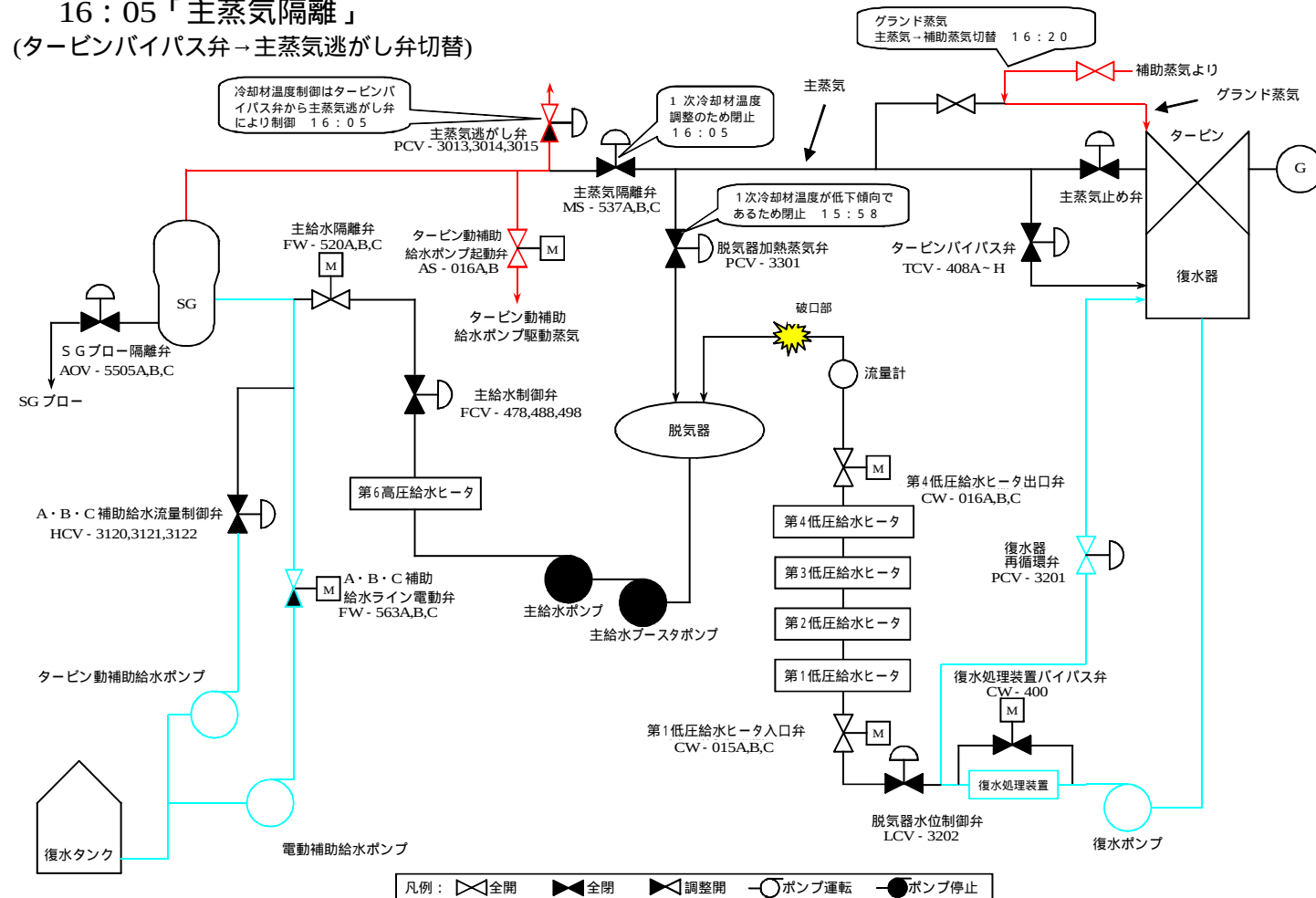
15 : 44 「脱気器水位制御弁閉止」



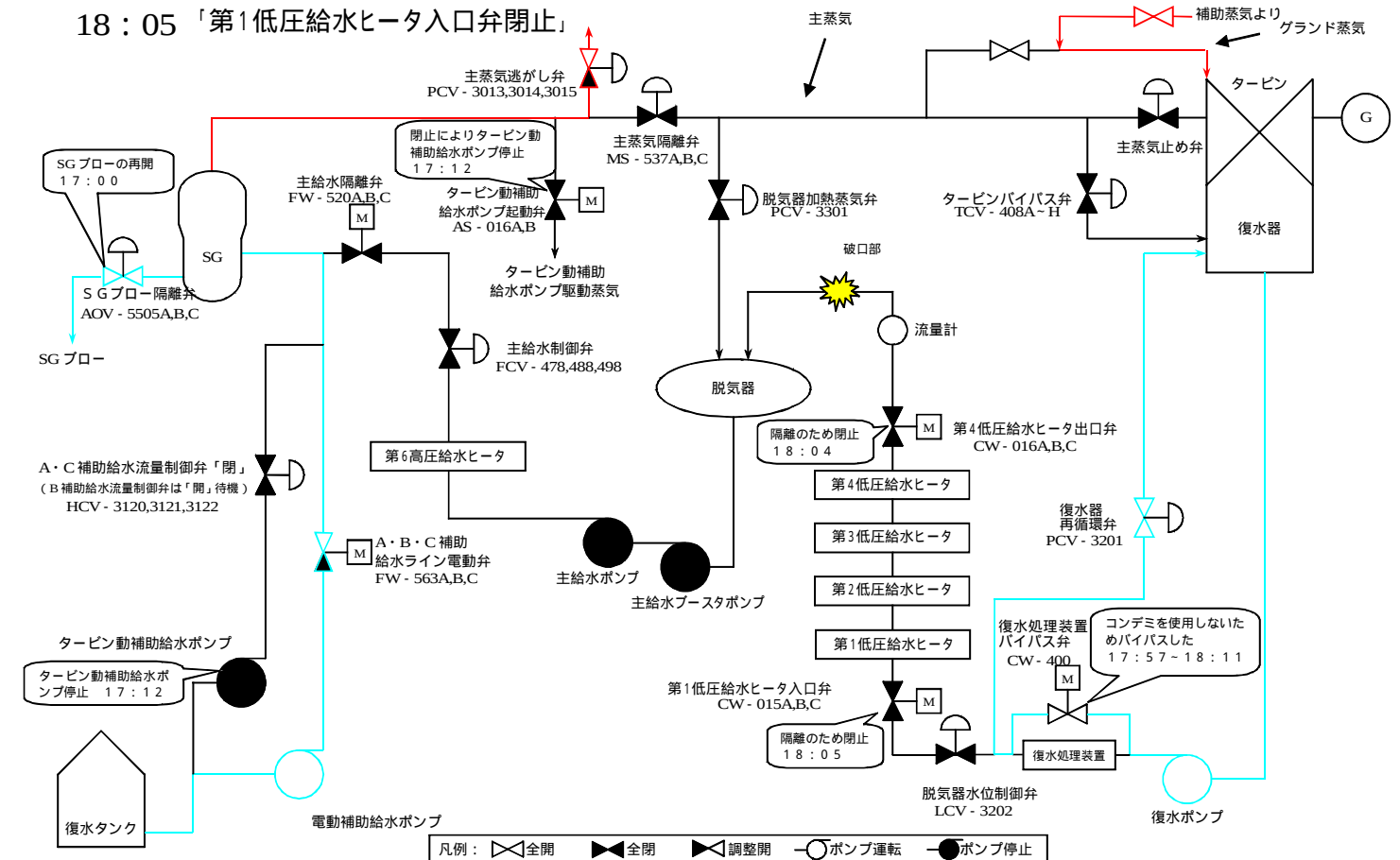
16 : 26 「給水隔離弁閉止」



16 : 05 「主蒸気隔離」
(タービンバイパス弁→主蒸気逃がし弁切替)



17 : 12 「タービン動補助給水ポンプ停止」
18 : 04 「第4低圧給水ヒータ出口弁閉止」
18 : 05 「第1低圧給水ヒータ入口弁閉止」



美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (1 / 7)

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員 (A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
8月9日	事故前	3号中央制御室	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	事務所別館 執務室	事務所別館 執務室	別 図
15:22	「火災報知器動作」警報発信	口頭 ↓ 了解	火災受信盤で動作箇所を確認し報告 (・タービン建屋2階取水口側階段 ・FWP (主給水ポンプ) 出口ヘッダ付近 他多数警報発信)	火災受信盤で動作箇所を確認し報告 (・タービン建屋2階取水口側階段 ・FWP (主給水ポンプ) 出口ヘッダ付近 他多数警報発信)		口頭	補機員 (A) → 了解 火災報知器警報発信原因確認のため現場へ向かう			
15:22	「3B直流接地」警報発信	口頭 ↓ 了解 現場確認を指示	火災受信盤の警報箇所が多数であることを確認し報告 口頭 ↓ 了解	「3B直流接地」警報発信を確認し報告 一斉ページング放送実施 ・「直流接地発生、作業関係者は中央へ連絡して下さい」 ・「タービン建屋火災発生」 タービン建屋3階へ確認に向かう						当直主任の「タービン建屋火災発生」一斉ページング放送については、火災受信盤の警報箇所印字プリンタの打出しが多いことから異常であると判断し、ページング放送した
15:23	「3A直流接地」警報発信	了解 ← 口頭	「3A直流接地」警報発信を確認し報告	「3A直流接地」警報発信を確認し報告						
		↓ 了解 脱気器の水位・圧力および復水流量監視を指示	口頭	口頭		「脱気器水位および復水流量低下、脱気器水位調節器出力100%開」を確認し報告				主機員は、各パラメータから脱気器水位制御に異常が発生したと思った
				口頭		↓ 了解 脱気器水位・圧力および復水流量を監視				

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (2 / 7)

添付資料 3 - 4

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員 (A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
15:25		↓ 了解 了解 ← 口頭 蒸気 充満・直流接地・脱気器関連パラメータからプラント停止を判断 緊急負荷降下 (5% / 分)を指示 発電室長に以下を報告 ・火災報知器動作 タービン建屋に蒸気 充満 ・直流接地 ・脱気器関連パラメータ ・2次系での漏えいの疑いで緊急負荷降下	タービン建屋3階蒸気 充満を確認 中央に戻り報告 口頭	口頭 ↓ 了解	主機員の脱気器関連パラメータの監視状況から、脱気器水位制御弁の現場確認が必要と判断し指示	PHS 補助ボイラー起動を指示 口頭	補機員 (A) 中央制御室からタービン建屋3階面に出たところ、高圧タービン付近が白煙で充満しているのを確認 中央制御室へ戻り状況を報告 (タービン建屋脱気器側に行くのは危険と判断) 再確認したいと考え現場に向かう 補機員 (A) → 了解 脱気器水位制御弁の現場確認に向かう 補機員 (B) → 了解 補助ボイラー起動に向かう			当直課長は、蒸気が充満し、直流接地警報が発信していること、脱気器水位、復水流量のパラメータからプラント2次系 (給水管または復水管のどちらか)での漏えいの疑いがあることから、プラントの停止を判断 緊急性を考え、負荷降下率は最大レート (5% / 分)
15:26	緊急負荷降下	了解 ← 了解 ← ↓ 了解 パラメータ変化 (復水流量変化および脱気器水位が低下)によりプラント自動停止に備えるよう中央全員に指示	口頭 口頭	緊急負荷降下を開始し報告	脱気器関連パラメータを適宜報告 了解 ← 補機員 (A)の報告内容を報告 補助ボイラー起動を指示	PHS PHS	補機員 (A) 脱気器水位制御弁の確認をしようとしたが、蒸気が迫ってきたので、制御弁の確認はできなかった タービン建屋3階の白煙は蒸気であることを確認し報告 補機員 (A) → 了解 補助ボイラー起動に向かう	ページング放送を聞いて、日勤直7名は中央制御室へ応援に向かった 別 図	ページング放送を聞いて、教育直3名は中央制御室へ応援に向かった 別 図	運営係員は事務所執務室 運営係員9名は中央制御室へ応援に向かった 別 図
			口頭 ↓ 了解	了解	了解	了解	了解			

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (3 / 7)

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員(A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
15:27	タービン建屋内の負傷者発見						補機員(A) 補助ボイラー起動のためタービン建屋3階から2階へ降りたところエレベータ前で協力会社作業員1名が倒れているのを発見した 救急車手配を依頼			
		了解 ←	口頭		PHS ↓ 了解 補機員(A)の報告内容を報告		補助ボイラー室に向かう			
15:28	A・B主給水ポンプ自動停止(主給水ポンプ全台停止)					給水ポンプの全台停止確認				
15:28	原子炉自動停止		口頭		A - SG給水<蒸気流量不一致で原子炉が自動停止したことを報告	A・B - 電動補助給水ポンプの自動起動確認				
15:28	事故対策本部開設	了解 原子炉自動停止によるプラント自動停止の確認を中央全員に指示	口頭				補機員(A)(B) 補助ボイラーの起動およびスチームコンバータの停止操作を実施			
		発電室長にプラント自動停止を報告するとともに救急車の手配を依頼 (発電室長は救急車手配を所長室長へ連絡)	了解 プラント自動停止状況を確認	了解 発電機自動停止状態確認 ・主変しゃ断器開	了解 原子炉自動停止状態確認 ・原子炉トリップしゃ断器開 ・全制御棒挿入 ・炉外核計装出力低下	了解 タービン自動停止状態確認 ・タービン各弁閉止				日勤直員、教育直員および運営係員は、プラント自動停止の一斉放送を聞き操作応援のため3号中央制御室へ急行するが、途中負傷者の救援活動が必要と判断し、当直操作応援と二手にわかれた
			プラント自動停止状況異常なしを報告	発電機自動停止状態異常なしを報告	原子炉自動停止状態異常なしを報告	タービン自動停止状態異常なしを報告		日勤直当直主任および日勤直員4名は現場負傷者の救援を実施	教育直員2名は現場負傷者の救援を実施	〔運営係員4名は現場負傷者の救援を実施〕
		了解 ← 口頭 発電室長にプラント自動停止状態に異常のないことを報告				タービン動補助給水ポンプ自動起動確認 給水制御弁の全閉確認		日勤直当直班長および日勤直員1名は中央制御室にて当直操作応援実施	教育直当直主任は中央制御室にて当直操作応援実施	〔運営係員5名は中央制御室にて当直操作応援実施〕
15:32	タービン動補助給水ライン流量制御弁閉止				タービン動補助給水ライン流量制御弁(HCV-3120,3121,3122)を閉止					

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (4 / 7)

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員(A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
15:35	原子炉高温停止状態確立	↓ 了解 発電室長に原子炉高温停止状態確立を報告	口頭		原子炉の高温停止状態確立を確認し報告					
15:44	脱気器水位制御弁閉止	↓ 了解 脱気器水位制御弁の閉止を指示	口頭			主給水ポンプ全台停止後も脱気器水位が低下および復水流量の変動が激しいことから脱気器水位制御弁の閉止を具申				当直課長は、脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統水が沸騰しているのではないかと考えた
		← 了解		口頭		↓ 了解 脱気器水位制御弁を閉止し報告				
15:45	脱気器水位ほぼ0%	← 了解		口頭		脱気器水位がほぼ0%であることを確認し報告				
15:53	タービン建屋2階、3階に充満している蒸気量が減少	↓ 了解 発電室長にタービン建屋内の状況を報告		口頭				(日勤直当直主任) タービン建屋2階、3階の蒸気量が減少していることを確認し報告		当直課長は、2次系での漏えいが減少していることを認識した
15:58	脱気器加熱蒸気弁閉止	↓ 了解 脱気器加熱蒸気弁の閉止を指示	口頭			1次冷却材温度の低下傾向が続くため、脱気器加熱蒸気弁の閉止を具申				
		← 了解		口頭		↓ 了解 脱気器加熱蒸気弁を閉止し報告				

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (5 / 7)

添付資料3 - 4

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員(A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
15:58	1次冷却材ほう素濃縮開始	原子炉運転モード5(1次冷却材温度93以下の低温停止)のほう素濃度990ppm以上を目標に、1次冷却材ほう素濃縮開始を指示 了解 ←		口頭 口頭	了解 1次冷却材ほう素濃縮を開始し報告					
16:00	1直→2直への直引継ぎ開始									
16:05	主蒸気隔離	↓ 了解 脱気器加熱蒸気弁を閉止しても1次冷却材温度が回復しないため、主蒸気隔離を指示(1直当直課長が指示) 了解 ← 1次冷却材温度調整をタービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替えるよう指示 了解 ←		口頭 口頭 口頭	口頭 口頭 了解 タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替えて報告			(日勤直当直班長) 1次冷却材温度上昇が見られないことを報告 (日勤直当直班長) ↓ 了解 主蒸気隔離を実施し報告		
16:10	1直→2直への直引継ぎ終了	1直→2直への直引継ぎ終了 当直員は交代するが、体制は変更なし								
16:15	非常災害対策本部設置									
16:20	タービングランド蒸気切替	タービングランド蒸気の切替の確認を指示 了解 ←		口頭 口頭	了解 タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気に切替えを行い報告					

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (6 / 7)

添付資料3 - 4

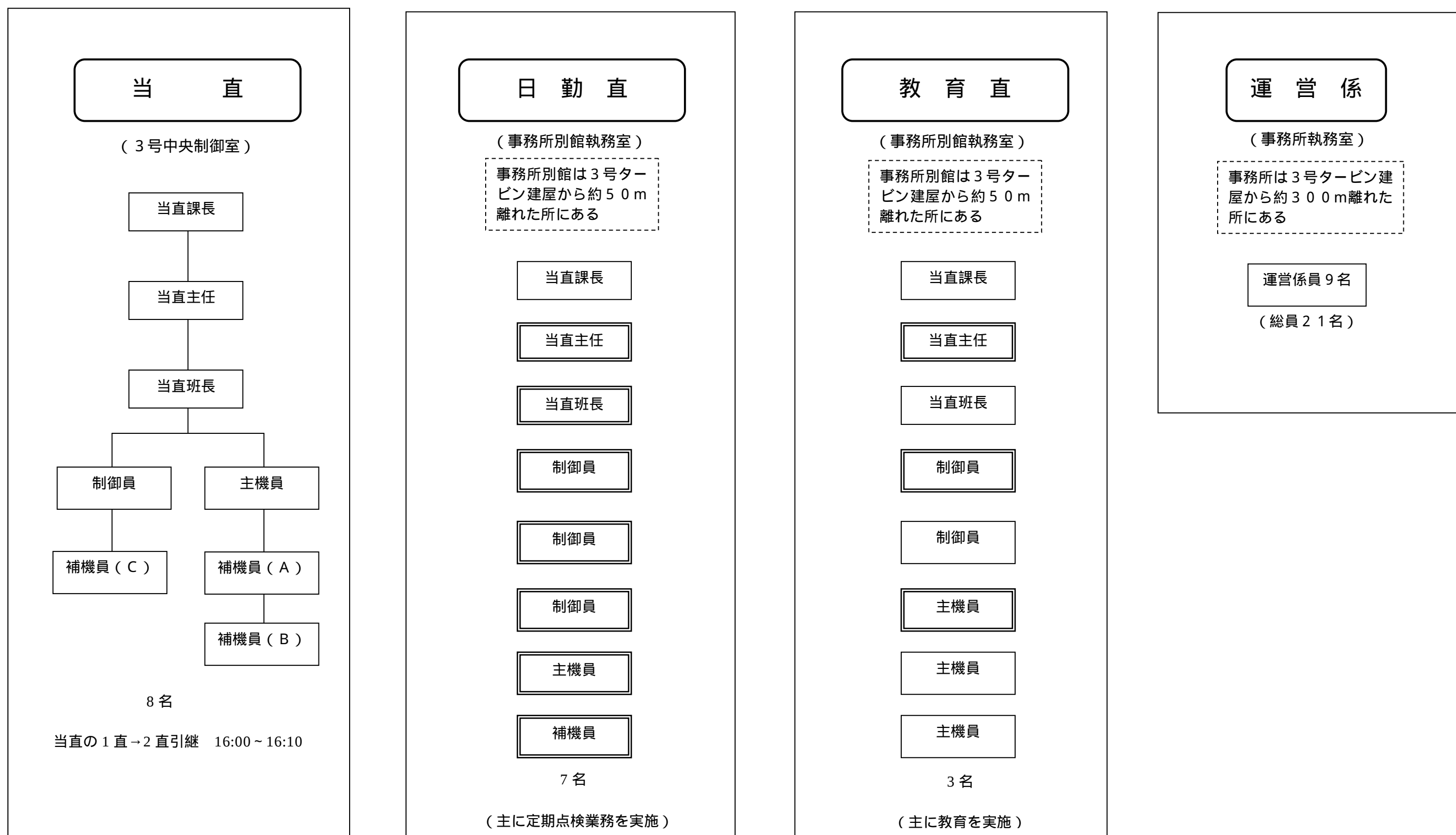
日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員 (A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
16:26	主給水隔離弁閉止	主給水ラインのパウ ダリ強化のため、主給 水隔離弁閉止を指示	口頭	了解 主給水隔離弁を閉止し 報告						
16:41	タービンターニング開 始	了解	口頭	タービンの自動ターニン グ開始を確認し報告						
16:55	SG水位回復	了解	口頭	SG水位が通常水位に 回復したことを報告						
17:12 ~ 17:13	タービン動補助給水ポ ンプ停止	タービン動補助給水ポ ンプの停止を指示	口頭	了解 タービン動補助給水ポ ンプ停止 タービン動補助給水ポ ンプを自動待機状態に すべく補助給水流量制 御弁を「開」操作するも 3台のうち2台 (A、C) が開放できないことを 確認し報告						
17:30	破口箇所確認	補助給水流量制御弁3 台のうち2台 (A、C) が 「開」不能を発電室長に 報告	口頭	了解 タービン建屋2階の第4 低圧給水ヒータ出口配 管が破口していることを 発電室長へ報告				(日勤直当直主任) タービン建屋2階の第 4低圧給水ヒータ出口 配管が破口している ことを確認し報告		

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き (7 / 7)

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員(A、B、C)	日勤直員	教育直員	備考
18:04～ 18:05	低圧給水ヒータ入口、 出口弁閉止			口頭				(日勤直員(A)) バウンダリ強化のため、第1低圧給水ヒータ入口弁、第4低圧給水ヒータ出口弁の閉止を具申		
		了解← 第1低圧給水ヒータ入口弁、第4低圧給水ヒータ出口弁の閉止を指示				口頭		(日勤直員(A))		
				口頭				↓ 了解 補機員(A)とともに、第1低圧給水ヒータ入口弁、第4低圧給水ヒータ出口弁を閉止し報告		
		了解←								

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る当日の体制

別 図

日勤直・教育直については ☐ 当日の出勤

美浜3号機 通常停止操作と今回停止操作の相違

【 1 次系操作 】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
プラント高温停止状態安定確認後、1次冷却材ほう素濃縮を開始する	8 / 9 15 : 35	プラント高温停止状態安定確認 (R C S 圧力、1 次冷却材高温・低温側温度、主蒸気圧力、S G 水位)	通常の運転操作である
	15 : 58	1 次冷却材ほう素濃縮開始	
R C S 脱ガス運転	16 : 00	R C S 脱ガス開始	通常の運転操作である
S G 水位の調整 (S G 水張りポンプによる補給)	16 : 55	S G 水位 各約 33% : 無負荷通常水位 (電動 / タービン動補助給水ポンプによる補給)	脱気器使用不能のため、補助給水ポンプを使用して S G 水位調整を行った
原子炉停止後の点検	19 : 20	原子炉停止後の点検(格納容器内を除く 1 次系)	通常の運転操作である

【 2 次系操作 】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
脱気器を水源として S G 水張りポンプによる S G 給水の継続	15 : 44	脱気器水位制御弁閉止	脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統がフラッシュしているのではないかと懸念し閉止した
	15 : 45	脱気器の水位低下が継続していることを確認	破口からの流出による脱気器補給量低下による
	15 : 49	A・B - 復水器真空ポンプ自動起動	復水器真空調整実施中に自動動作した (通常の運転動作)
タービンバイパス弁による 1 次系冷却	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	R C S 温度低下抑制操作として実施した
タービングランド蒸気供給源の切替	16 : 20	タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気に切替	通常の運転操作である
S G 水位の調整 (S G 水張りポンプによる補給)	16 : 26	主給水隔離弁閉止	主給水ラインのパウダリ強化 (補助給水系・S G からの漏えい箇所への逆流防止)
タービン回転数低下後のターニング	16 : 41	タービントーニング開始	通常の運転操作である
-	17 : 00	A・B・C - S G ブロー再開	停止時の水質調整操作として実施した
脱気器を水源として S G 水張りポンプによる S G 給水の継続	17 : 12	タービン動補助給水ポンプ停止	不要となったため、停止した
停止時の水質調整操作 ・復水处理装置通水流量の調整 ・補給、ブロー流量の調整	17 : 45	A - 復水器真空ポンプ停止	復水器真空回復に伴い停止した
	17 : 54	B - 復水器真空ポンプ停止	復水器真空回復に伴い停止した
	17 : 57 ~ 18 : 11	復水处理装置バイパス操作	復水处理装置使用不要のため、バイパス操作を実施した
	18 : 04	第 4 低圧給水ヒータ出口弁 (C W - 016 A・B・C) 閉止	破口部の隔離操作として実施した
	18 : 05	第 1 低圧給水ヒータ入口弁 (C W - 015 A・B・C) 閉止	破口部の隔離操作として実施した

【 1 次系操作 】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
1 次冷却材ほう素濃縮結果を 分析結果で確認の上、原子炉 運転モード 5（低温停止）ほう 素濃度以上であることを確認	2 1 : 1 5	サンプリング結果 ほう素濃 度 1 , 3 3 6 p p m	通常の運転操作である
	2 1 : 3 0	サンプリング結果 加圧器ほう 素濃度 1 , 1 1 4 p p m	
	2 1 : 3 5	原子炉運転モード 5（低温停 止）ほう素濃度 9 9 0 p p m 以上（技術課通知文書によ り確認）	
R C S 冷却操作	2 2 : 5 6	原子炉リセット	R C S 冷却に伴う制 御棒引き抜き操作の ため実施した（原子 炉自動停止したこと に伴う自動停止信号 のリセット）
	2 3 : 0 0 ～ 2 3 : 0 9	停止用および制御用制御棒を 引抜き 停止用：0 → 2 2 8 ステップ 制御用：0 → 5 ステップ	R C S 冷却のため、 制御棒引き抜き操作 を実施
	2 3 : 3 0	R C S 冷却開始 B - R C P 停止	通常の運転操作である
	2 3 : 5 3	主蒸気ライン安全注入動作阻止	通常の運転操作である
	8 / 1 0 0 0 : 2 3	加圧器安全注入動作阻止	通常の運転操作である
	0 0 : 2 5 ～ 0 0 : 5 6	ほう酸タンク使用切替 B → A	通常の運転操作である
	0 1 : 0 4 0 1 : 3 4 0 1 : 4 2	C / V パージ開始 A - C / V 送・排気ファン起 動 B - C / V 送・排気ファン起 動	通常の運転操作である

【 2 次系操作 】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
原子炉停止後の点検	0 1 : 3 0	原子炉停止後の点検（2 次系）	通常の運転操作である

【 1 次系操作 】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
R C S 冷却操作	0 3 : 1 7	A ・ B ・ C - アキュムレータ 出口電動弁閉止	通常の運転操作である
	0 4 : 0 1	抽出水オリフィス切替 A ・ B → A ・ B ・ C	
	0 4 : 0 7	B - 1 次冷却水ポンプ追加起 動	
	0 4 : 3 0	R C S ボレーション終了 サンプリング結果 R C S ル ープほう素濃度 2 6 6 5 p p m	
C / V パージ完了	0 4 : 4 2	C / V パージ完了	通常の運転操作である
1 次冷却材ほう素濃縮分析	0 4 : 5 5	サンプリング結果 加圧器ほう 素濃度 2 , 5 6 6 p p m	通常の運転操作である
	0 5 : 5 5	原子炉運転モード 3 → 4 (R C S 温度 1 7 7 未満) 保安規定第 6 6 条 (補助給水 系) のタービン動補助給水ポ ンプに関する運転上の制限は 適用モード外に移行	
R C S 冷却操作	0 6 : 3 2	タービン動補助給水ポンプ待 機除外	通常の運転操作である
	0 6 : 3 6	B ・ C - 充てん / 高圧注入ポ ンプ 自動 → 待機除外 (C S ブルアウト)	
原子炉停止後の点検	0 9 : 5 0	原子炉停止後の点検 (格納容器 内)	通常の運転操作である
R C S 冷却操作	1 1 : 0 2	B - 余熱除去系統 (以下「 R H R S 」という) ウォーミン グ開始	通常の運転操作である
	1 2 : 4 0	B - R H R S 使用開始	
	1 3 : 0 0	加圧器満水操作開始	
	1 3 : 1 1	A - R H R S ウォーミング開 始	

【 2 次系操作 】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
—	1 2 : 4 1	B - 電動補助給水ポンプ停止	R H R S 使用開始による R C S 冷却手段が確保で きたため停止した

【1次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
RCS冷却操作	14:15	A - R H R S使用開始	通常の運転操作である
	14:55	加圧器満水	
	16:34	1次冷却材温度 140 到達	
	16:34	低溫時過加圧防止設備 R C S	
	~	温度低 P C V - 445、44	
	16:35	4Aモード選択スイッチ「通常」→「低圧」	
	18:08	原子炉トリップしゃ断器開放	
	18:15	C - 1次系冷却材ポンプ（以下「RCP」という）停止（A - RCPのみ運転継続）	
		原子炉運転モード 4（1次冷却材温度 177 未満）→	
	19:05	5（1次冷却材温度 93 以下）	
	19:27	安全注入、内部スプレ信号ブ	
	~	ロック	
	19:30		
	20:00		
~	内部スプレポンプ待機除外		
20:10			
23:00			
~	1次冷却材温度 60 到達		
23:45	（RCS冷却完了）		

【2次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点

美浜 3 号機 2 次系配管破損事故時の運転操作について

1 . 目的

今回の事故時における運転操作の妥当性について検討を行うとともに、今後の運転操作に反映すべき事項について検討する。

2 . 運転操作について

(1) 今回の運転操作について(詳細は、添付資料 3 - 2 参照)

緊急負荷降下の判断

発電室業務マニュアル『事故時対応業務』に基づき今回は、蒸気が充満し、直流接地警報が発信していること、脱気器水位の低下、復水流量変動のパラメータからプラント 2 次系（給水管または復水管のどちらか）での漏えいの疑いがあることからプラントの停止を判断（15:25）し、緊急性を考え、負荷降下率は最大レート（5 % / 分）を実施した。（15:26）

原子炉トリップ後の対応

緊急負荷降下開始直後、原子炉が自動トリップ（15:28）したことにより事故時マニュアル『原子炉トリップ』の確認項目について以下のとおり対応した。

- a . 原子炉トリップしゃ断器開、全制御棒挿入、炉外核計装出力低下により原子炉トリップ確認(15:28)
- b . タービン各弁閉止により、タービントリップ確認(15:28)
- c . 主変しゃ断器開により発電機トリップ確認(15:28)
- d . タービン動補助給水ポンプの自動起動を確認することで蒸気発生器への給水状態を確認(15:28)
- e . 以下のパラメータにより原子炉高温停止状態確立・保持確認(15:35)
 - ・ R C S 圧 力 : 1 4 MPa (回復中)
 - ・ R C S 温 度 : 2 8 6
 - ・ 加 圧 器 水 位 : 2 2 %
 - ・ 主 蒸 気 圧 力 : 6 . 8 MPa
 - ・ S G 水 位 : 狭域 A ・ B ・ C 共 0 % 以下
広域 A 4 8 % B ・ C 5 3 %
- f . 原子炉停止後の点検(1 次系 19:20、2 次系 8/10 01:30)

脱気器水位制御弁の閉止

プラント停止状態の確認後、脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統水が沸騰しているのではないかと懸念し脱気器水位制御弁を閉止した。（15:44）

原子炉高温停止～低温停止移行操作

通常時運転マニュアル『原子炉停止』に基づき原子炉高温停止～原子炉低温停止の操作を実施した。（23:30～8 月 10 日 23:45）

(2) まとめ

今回の事故時における原子炉停止操作については、運転マニュアルに基づき実施したことを確認した。

しかしながら、従来の運転マニュアルは 1 次系への影響の観点から整備しているが、今回のような脱気器水位制御弁の閉止操作等の 2 次系配管破損事故時に流出量を低減する具体的な対応操作を記載した運転マニュアルがないことから、事故に備えた運転マニュアルの充実等について以下に検討する。

3. 運転マニュアルの充実等について

(1) 検討内容

今回の事故時においては、15:44 に脱気器水位制御弁を閉止しているが、流出量の低減に有効な手段は流出箇所を断定し、脱気器水位制御弁をいかに早く閉止するかである。

このため、脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について運転マニュアルの変更および設備対応をも考慮し、以下のとおりケーススタディを実施した。(詳細は、別紙 - 1 参照)

これらの検討結果から原子炉トリップを早く実施し、さらにタービントリップ信号(原子炉手動トリップにより発信)による脱気器水位制御弁自動閉止(設備対応)により今回の事故時より最大で約 560 t の流出量の低減が可能であることがわかった。

ケーススタディの結果

ケース	結 果
A (今回)	15:44：破口発生から 22 分後(脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量 約 885t
B	15:35：破口発生から 13 分後(高温停止状態確認後、直ちに脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量 約 685t ・ ケース A の今回の対応に比べ流出量が約 200t 低減できる。
C	15:32：破口発生から 10 分後(原子炉トリップ後、タービン動補助給水ポンプ流量調整を実施した時点で脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量 約 605t ・ ケース A の今回の対応に比べ流出量が約 280t 低減できる。
D	15:30：破口発生から 8 分後(15:26 に原子炉を手動トリップ、原子炉トリップ 4 分後に脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量 約 525t ・ ケース A の今回の対応に比べ流出量が約 360t 低減できる。

ケース	結 果
E	15:26:30：破口発生から 4 分 30 秒後(原子炉手動トリップに加えタービントリップ信号(原子炉手動トリップにより発信)により脱気器水位制御弁を自動閉止したケース) ・ 流出量 約 325t ・ ケース A の今回の対応に比べ流出量が約 560t 低減できる。

(2) まとめ

今回の事故で得られた教訓を活かすべく、2 次系配管破損事故時における運転マニュアルの充実等について以下の対策を実施する。

2 次系配管破損事故時の原子炉手動トリップの実施について

- a. 以下の内容を発電室業務所則『事故時対応業務』に記載する。
- ・ 当直課長は、2 次系配管破損事故(C V 外)においてプラントの運転が維持できないと判断した場合、速やかに原子炉を手動停止する。

2 次系配管破損事故時における 2 次冷却材(復・給水系)の流出量減少操作について

- a. 以下の内容を事故時マニュアル『原子炉トリップ』に記載する。
- ・ 原子炉トリップに至った理由が 2 次系配管破損の場合は、流出量低減の観点から脱気器水位制御弁の閉止と事象に応じて復給水系ポンプを停止する。
- b. より確実な対応のためタービントリップ信号により脱気器水位制御弁を自動的に閉止するよう設備対応を検討する。
- ・ 設備対応完了後は、事故時マニュアル『原子炉トリップ』の記載を以下のとおりとする。
- 『脱気器水位制御弁の閉止』を『脱気器水位制御弁の閉止確認』に変更する。

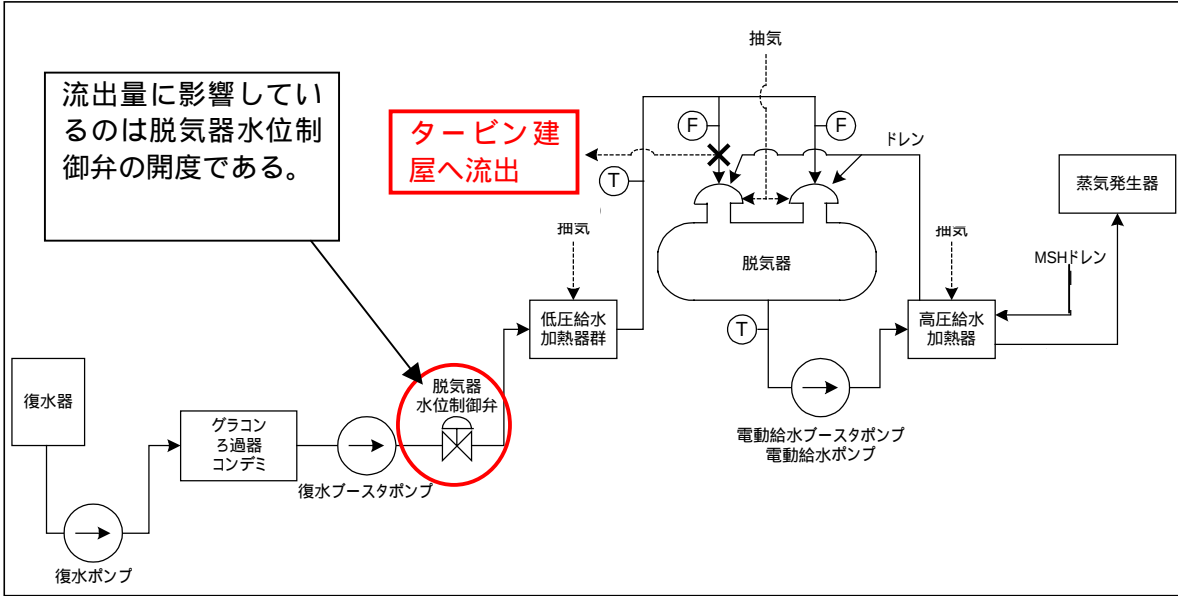
2 次系配管破損事故時対応シミュレータ訓練について

- ・ 改訂した運転マニュアルを用い、今回の事故を模擬した運転訓練シミュレータ訓練を実施し 2 次系配管破損事故の対応能力を高めることとする。
- 訓練実施頻度等：直員連携訓練により 1 回 / 年の頻度で継続的に実施する。

以 上

脱気器水位制御弁の開止時期と流出量の関係について

【概略系統図】



脱気器水位制御弁の開止時期が流出量に与える影響について以下のとおり検討した。

a．検討条件等について

検討にあたっては、実機データ及び2次系のプラント挙動再現解析結果を用いた。

【再現解析の時系列】

・2次系配管破損の発生状況等

項 目	内 容
破損発生時刻	1 5 : 2 2
破損発生箇所	脱気器入口配管 A 系統
破口面積	今回の事故実績より仮定：0 . 4 3 m ²
緊急負荷降下開始	1 5 : 2 6

【脱気器水位制御弁の開止時期】

脱気器水位制御弁の開止時期を以下の3 ケースについて設定し流出量を評価した。

ケース	内 容
A	15:44：破口発生から 22 分後 脱気器水位制御弁を開止する今回の時系列どおりとした。
B	15:35：破口発生から 13 分後 高温停止状態確認後、直ちに脱気器水位制御弁を開止したと仮定 『時期設定理由』 プラントトリップ後の一連の確認を行い、原子炉の安全停止状態が確認できた時点とした。

ケース	内 容
C	15:32：破口発生から 10 分後 原子炉トリップ後、タービン動補助給水ポンプ流量調整を実施した時点で脱気器水位制御弁を閉止した仮定 『時期設定理由』 原子炉トリップ後、一連のトリップ状態の確認段階においてタービン動補助給水ポンプ流量調整を実施していることから、この時点から運転操作が可能と判断しこの時期を設定した。

b . ケーススタディの結果

ケース B、C については、破口初期の高温水の流出量低減には寄与しないがその後の流出量の低減には効果があることがわかった。また、流出量が低減することにより、救出のアクセス等がしやすくなるものと判断する。

ケース	結 果
A	15:44：破口発生から 22 分後に脱気器水位制御弁を閉止する今回の対応のケース ・トータルで約 885t の流出が発生する。
B	15:35：破口発生から 13 分後に脱気器水位制御弁を閉止するケース ・トータルで約 685t の流出が発生する。 ・ケース A の今回の対応に比べ流出量が約 200t 低減できる。
C	15:32：破口発生から 10 分後に脱気器水位制御弁を閉止するケース ・温度約 140℃、約 400t の高温水と温度の低下(約 140→約 60℃)した約 205t の流出が発生する。(トータル約 605t) ・ケース A の今回の対応に比べ流出量が約 280t 低減できる。

上記から流出量の低減に効果の高いケース C をベースとして対策案を検討した。

c . 原子炉トリップ時期のケーススタディについて

上記ケーススタディからわかるように原子炉トリップを早く実施することで流出量の低減、流出水温度の早期低下が可能となる。

以上から、今回の事故においてプラント停止を判断し、緊急負荷降下を開始した時点(15:26)に原子炉を手動トリップしたと仮定しケーススタディすると流出量は約 525t となりケース A と比べ約 360t、ケース C と比較しても約 80t の低減が可能となる。(詳細は、ケース D 参照)

これらから、美浜 3 号機 2 次系配管破損事故を踏まえ、プラントの運転不能(大規模な蒸気確認、火災報知器動作、プラントパラメータ変化等)と当直課長が判断した場合は、原子炉を手動でトリップさせることとする。

本対策について発電室業務マニュアルに反映する。

また、流出量の低減のポイントとなる脱気器水位制御弁については、タービントリップにより自動閉止するよう設備対応を行い、操作が輻輳するプラントトリップ時の対応においても確実に閉止できるよう検討する。

設備対応を行いタービントリップにより自動閉止したケースについてケーススタディした結果、ケース D と本対策を実施することにより流出量は、ケース A と比べ約 560t、ケース C と比較しても約 280t の低減が可能である。(詳細は、

ケース E 参照)

設備対応完了までの間については、運転操作で対応することとする。

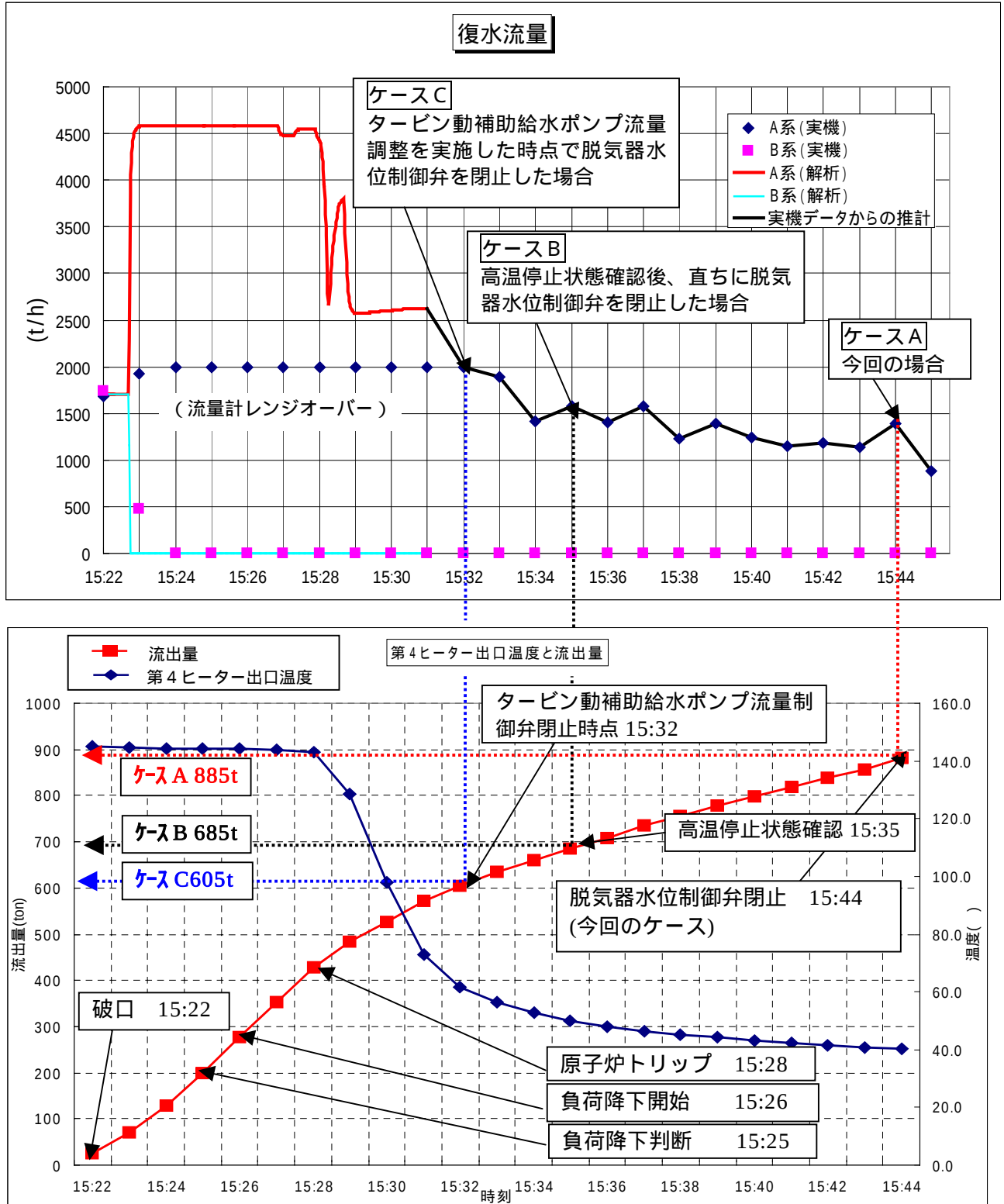
d . シミュレータ訓練の充実

今回の対策を確実なものとするため、改訂した運転マニュアルを用い、今回の事故を模擬した運転訓練シミュレータ訓練を実施し 2 次系配管破損事故の対応能力を高めることとする。

訓練実施頻度については、直員連携訓練により 1 回 / 年の頻度で継続的に実施することとする。

以 上

脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について

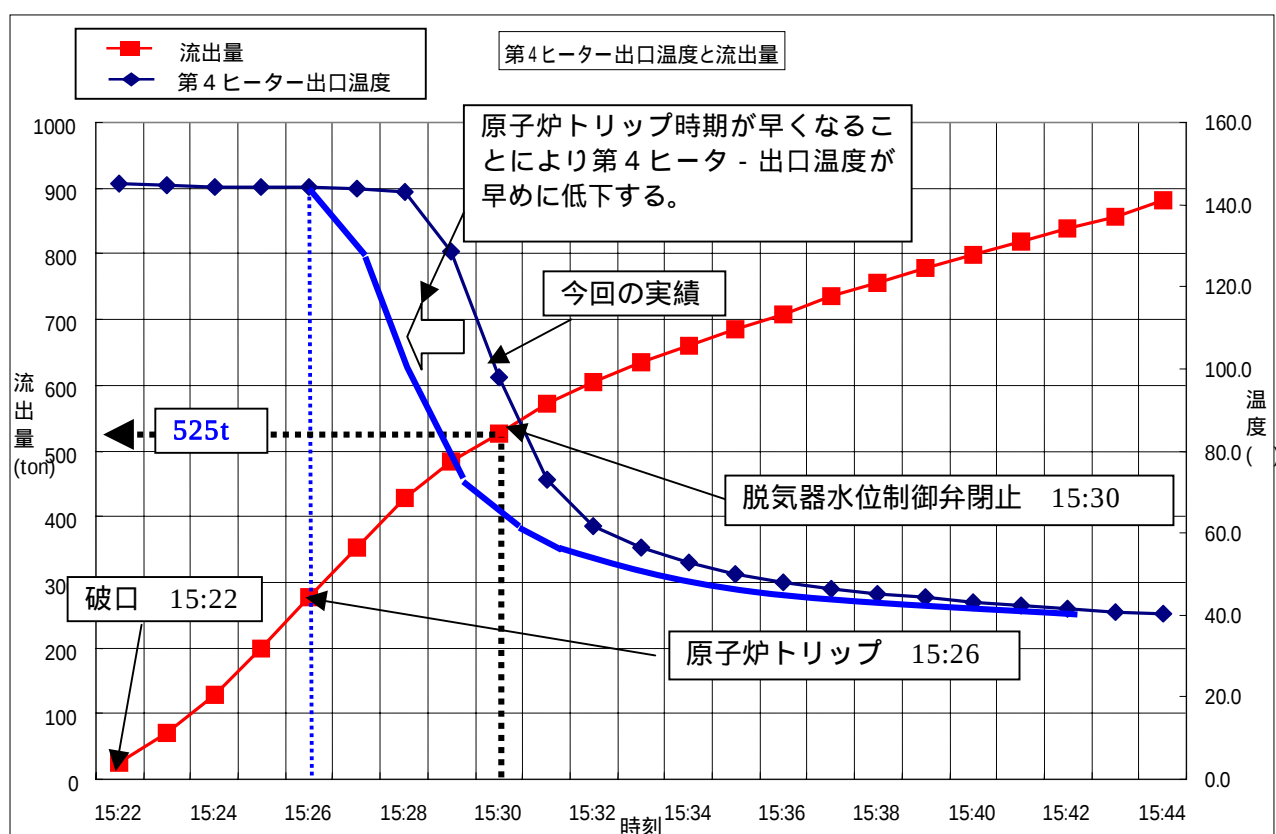


(注)流出量には、脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

【ケース D】

ケース	内 容
D	15:30：破口発生から 8 分後 タービン建屋で蒸気充満を確認した時点でプラント停止を判断し、15:26 に原子炉を手動トリップ、原子炉トリップ 4 分後の時点で脱気器水位制御弁閉止を仮定 『時期設定理由』 原子炉トリップ後、一連のトリップ状態の確認段階においてタービン動補助給水ポンプ流量調整を実施していることから、この時点から運転操作が可能と判断しこの時期(原子炉トリップ 4 分後)を設定した。

脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について



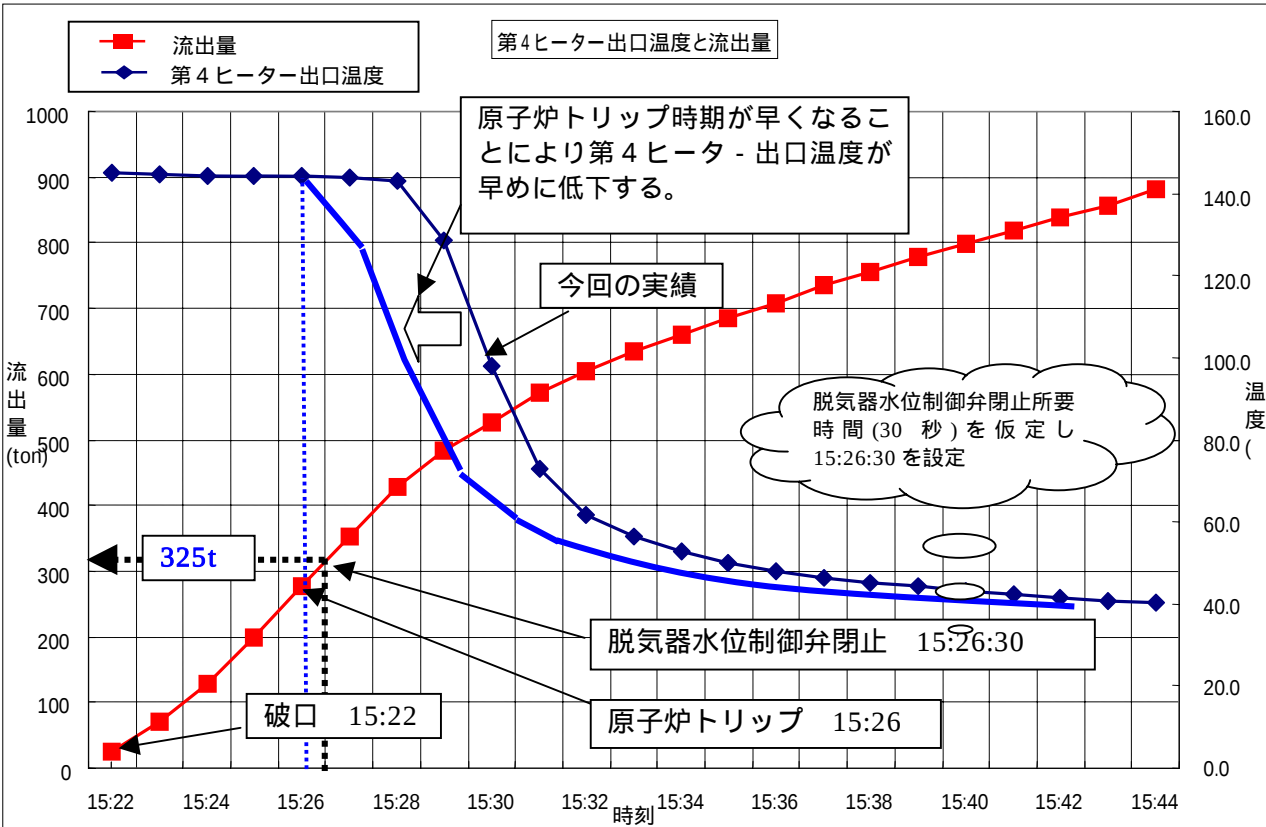
(注)流出量には、脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

ケース	結 果
D	15:30：破口発生から 8 分後に脱気器水位制御弁を閉止するケース 前項のケース A より約 360t の流出量の低減が可能となる。 また、ケース C に比べ約 80t の低減が可能となる。

【ケース E】

ケース	内 容
E	15:26:30：破口発生から 4 分 30 秒後 ・タービン建屋で蒸気充満を確認した時点でプラント停止を判断し、15:26 に原子炉を手動トリップするとともに、タービントリップ信号による脱気器水位制御弁自動閉止(設備対応)を仮定

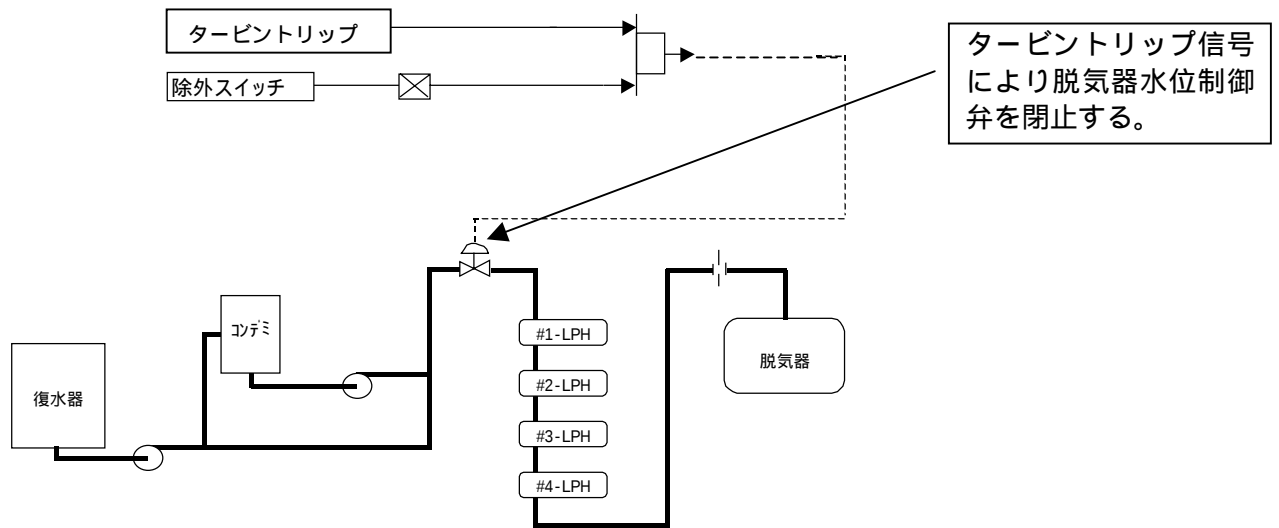
脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について



(注)流出量には、脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

ケース	結 果
E	15:26:30：破口発生から 4 分 30 秒後に脱気器水位制御弁自動閉止するケース ・タービントリップ信号(原子炉手動トリップにより発信)により脱気器水位制御弁自動閉止(設備対応)することで前項のケース A より約 560t の流出量の低減が可能となる。 また、ケース C に比べ約 280t の低減が可能となる。

【設備改造の例】



美浜 3 号機 2 次系配管破損事故と「主給水管破断」事故との比較

「主給水管破断」と今回の事故のプラントパラメータを比較して表 1 に示す。

表 1 のとおり、「主給水管破断」では、破断口を通しての S G 内水の放出、外部電源喪失による RCP の停止等を仮定しており、今回の事故に比べて炉心の冷却性に対して厳しい評価を行っている。この場合でも最小 DNBR は約 1 . 3 5 となり、許容限界値 1 . 1 7 を十分に上回っており、燃料健全性に問題はない。

一方、今回の事故においては、S G 器内水の放出はなく、RCP も停止しなかったことから、炉心の冷却状態は「主給水管破断」よりも悪化することはない。結果として今回の事故時の最小 DNBR は「主給水管破断」の結果を上回ることとなり、燃料健全性に問題はなかったといえる（図 1 参照）。

表 1 安全解析（主給水管破断）と美浜 3 号機 2 次系配管破損の比較

項 目		安全解析（主給水管破断）	美浜 3 号機 2 次系配管破損	
事故条件	起 因 事 象 (図 2 参 照)	主給水管両端破断 (主給水逆止弁・隔離弁～蒸気発生器の間（隔離不可能箇所）の破断を想定しており、SG 器内水の系外流出有り)	復水管破損 (主給水逆止弁・隔離弁よりも上流の脱気器入口（隔離可能箇所）付近の破損であり、SG 器内水の系外流出無し)	備考
	原 子 炉 出 力 %	100	定格熱出力一定運転中（約 100%）から、緊急負荷降下操作（（負荷降下率 5 % / 分）中に出力約 94% で原子炉トリップ	事故発生時
	1 次冷却材平均温度	305.7	約 304.4	事故発生時
	原子炉圧力 MPa[gage]	15.41	約 15.41	事故発生時
	外 部 電 源	無（RCP 停止）	有（RCP 運転）	実績
	単 一 故 障	タービン動補助給水ポンプ 1 台故障	故障無し（補助給水ポンプ全台起動）	実績
	補 助 給 水 開 始	事故検知後 10 分から破損 SG 隔離操作開始、隔離操作完了後健全 SG へ給水	補助給水ポンプ起動後直ちに全ての SG へ給水	実績
原 子 炉 ト リ ッ プ 信 号		蒸気発生器水位異常低（狭域水位の 0 %）	A S G 水位低（狭域水位の 2 5 %）+ A S G 給水 < 蒸気流量不一致で警報発信	実績
解析結果	原子炉圧力 MPa[gage] (事故中最高)	約 17.7 〔原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力約 18.2〕 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力 最高使用圧力×1.2 倍 (= 20.59)	約 15.6 トリップに伴い一時的に圧力が低下したが、それ以降、原子炉圧力はほぼ定格運転時圧力となり、以降、クールダウン開始まで大きく変動することはなかった	実績
	1 次冷却材平均温度 (事 故 中 最 高)	約 335	トリップ直後に定格運転時温度から約 2 0 低下して以降、大きく上昇することはなく、定格運転時温度以下の状態で推移した	実績
	最 小 D N B R	約 1.35 (1.17)	安全解析結果を上回る (上記の初期状態、事故進展からの推定)	

: 48,000MWd/t 燃料での安全解析結果

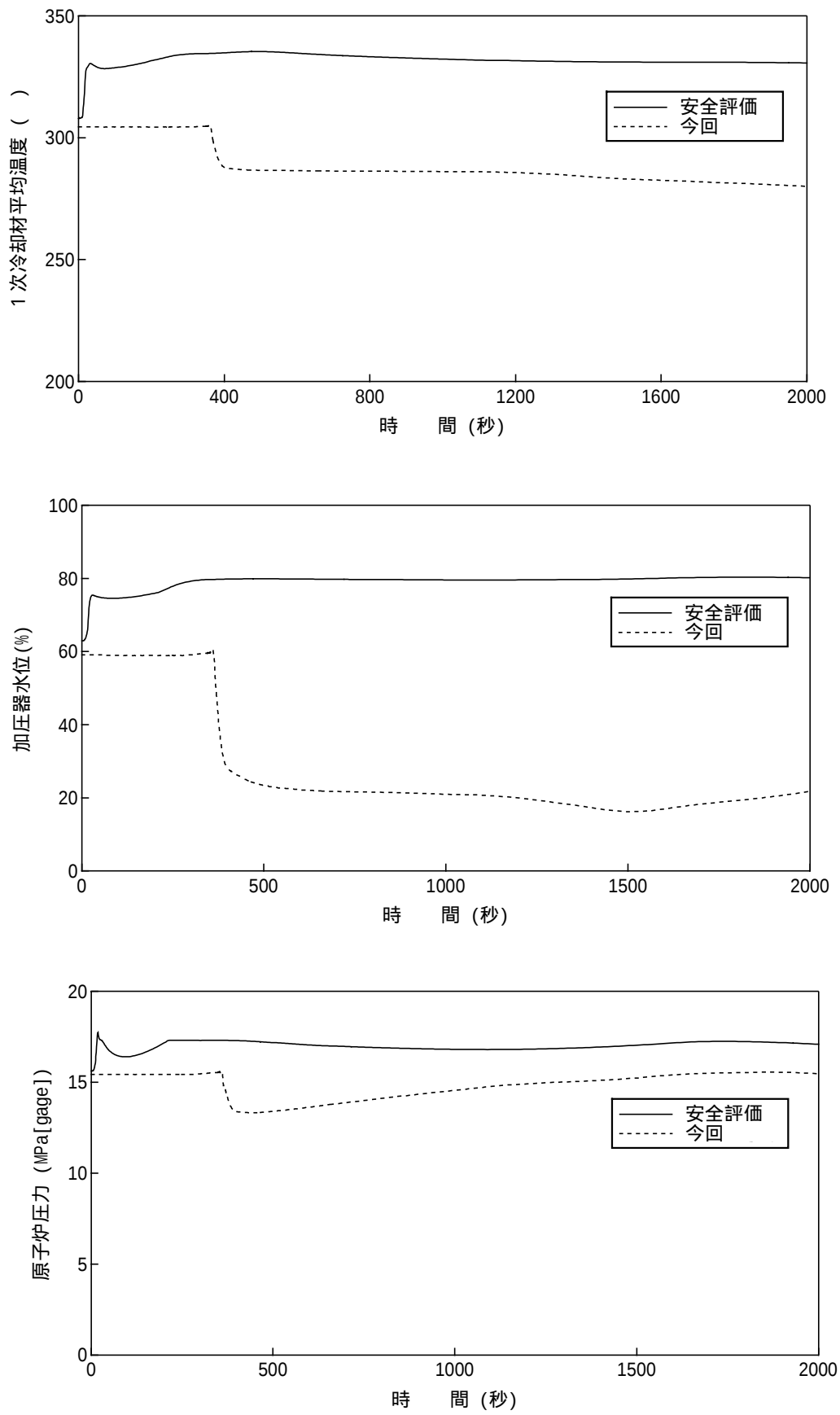


図 1 2次系配管破損事故と「主給水管破断」事故とのプラントパラメータ推移の比較

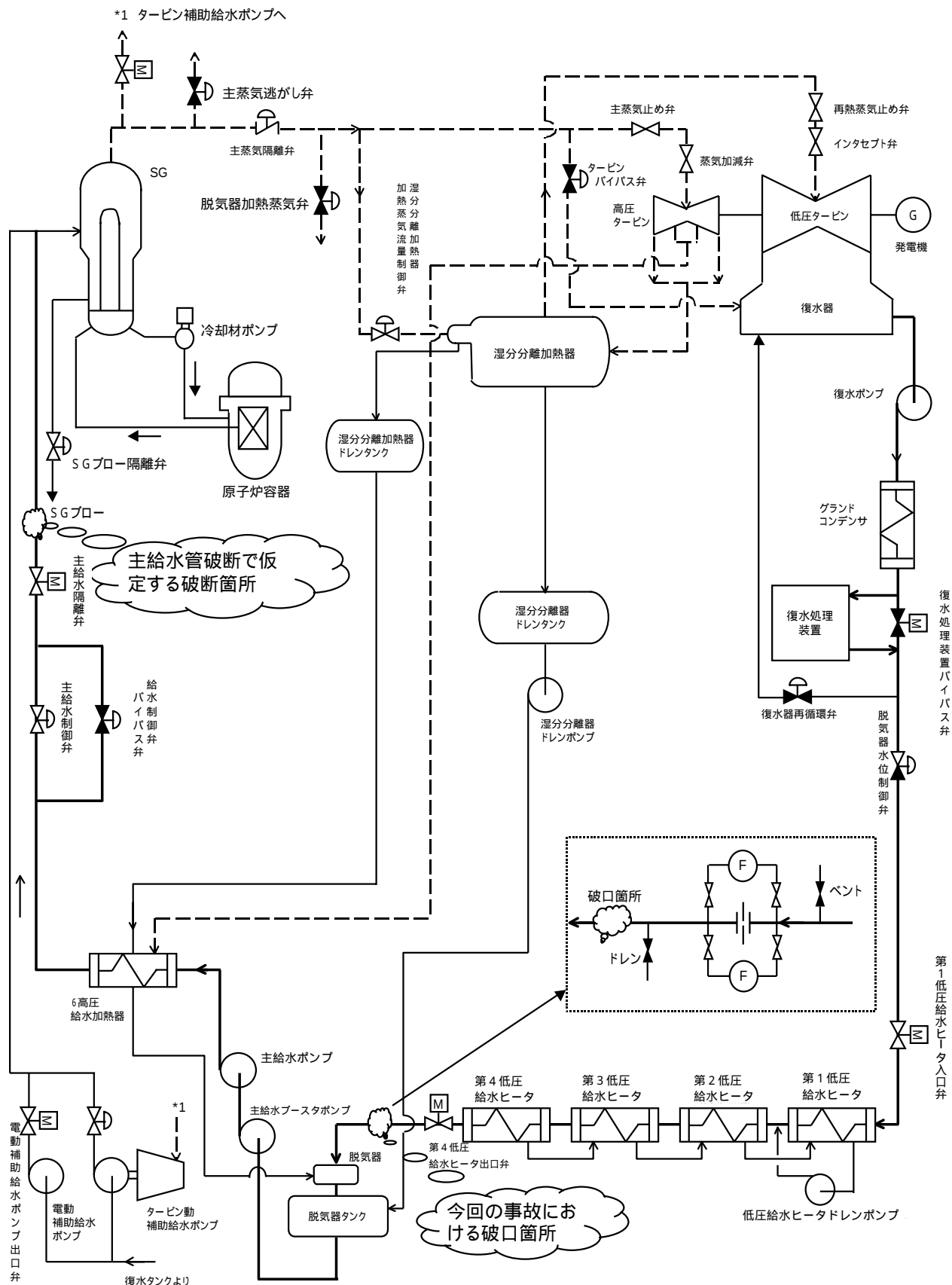


図2 美浜3号機概略系統

美浜 3 号機 2 次系配管破損事故の再現解析および炉心の健全性評価結果について

今回の事故の経過およびプラント挙動を踏まえ、事故の再現解析、炉心の健全性を評価した結果を以下に示す。

1 . 事故の再現解析および炉心健全性評価

(1) 解析の目的

今回の事故における 1 次系および 2 次系の圧力、温度等のプラント挙動の計測値を解析により再現する。解析は、2 次系のプラント挙動再現解析、1 次系のプラント挙動再現解析および炉心健全性評価の解析を実施した。それぞれの解析目的を以下に示す。

2 次系のプラント挙動再現解析

- ・主給水流量、復水器温度・圧力等の実機データを入力として今回の事故時の挙動を再現することにより、脱気器水位制御弁等の作動状況、各部における流量等を評価する。
- ・実機計測ではレンジオーバーにより計測できていない破口部からの流出流量を評価し、配管の受ける衝撃力の評価の入力条件に用いる。

1 次系のプラント挙動再現解析

- ・主給水流量、主蒸気流量等の実機データを入力として今回の事故時の挙動を再現することにより、中性子束、1 次冷却材温度等の主要パラメータを評価する。
- ・炉心部の 1 次冷却材温度等の過渡変化を評価し、炉心健全性評価の入力条件に用いる。

炉心健全性評価

事故直前の炉心データおよび得られたプラントパラメータを入力として、最小 DNB R を評価し、今回の事故期間中において燃料の健全性が保たれていたことを確認する。

(2) 解析に用いた計算コード

2 次系のプラント挙動再現解析

国内 PWR の運転訓練シミュレータで使用実績のあるシミュレーションコードを使用した。今回の評価では、復水器から SG までの 2 次系部分をモデル化し、境界条件としては、復水器温度・圧力、発電機出力から決まるタービン抽気圧力・流量および主給水流量の実機データを用いた。

1 次系のプラント挙動再現解析

原子炉設置変更許可時の原子炉施設の安全評価のための解析で用いられている MARVEL コードを使用した。MARVEL コードでは、1 次冷却系全体および S

Gを含む主蒸気・主給水系までを対象としており、境界条件としては、主給水流量および主蒸気流量の実機データを用いた。

炉心健全性評価

最小 DNBR の解析には THINC- コード (DNB 相関式は MIRC-1 相関式を適用) を、燃料の熱流束の解析には、FACTRAN コードを使用した。これらのコードおよび相関式は、原子炉設置変更許可時の原子炉施設の安全評価のための解析において用いられている。

(3) 解析条件

解析条件は、表-1.1-(1)～(2)のとおりである。

なお、1次系、2次系の再現解析ともに実機の主給水流量データを境界条件として用いており、1次系のプラント挙動再現解析と2次系のプラント挙動再現解析の間で、データの受け渡しは無い。

(4) 解析結果

2次系のプラント挙動再現解析

- ・解析結果と計測値の比較は図-1.1-(1)～(2)のとおりである。

破口部からの流出流量を示す復水流量は、復水流量の低下(実機プラントデータでは破損した A 系統は計測最大値の 2,000t/h、B 系統は 0t/h となり、トータルの復水流量は事故発生前の約 3,400t/h から約 2,000t/h に瞬時に低下している)に伴い脱気器水位制御弁*が全開になったことにより最大で約 4,600t/h となり、その後主給水ポンプ停止等による主給水流量の変化に伴い変動している。

脱気器水位は事象発生直後から水位が徐々に減少していった。これは、破口発生により復水の供給が無くなるが、主給水ポンプが作動している間は脱気器から主給水ポンプに水を供給するためである。

- *：脱気器水位制御弁は脱気器水位、復水流量、主給水流量の3要素により制御される。脱気器水位が低下すると水位を回復させるために弁は開方向に動作し、主給水流量が復水流量より少なくなると流量をバランスさせるために弁は閉方向に動作する。

1次系のプラント挙動再現解析

解析結果と計測値の比較は図-1.1-(3)～(7)のとおりである。

破口発生後、運転員操作による負荷降下が行われ、その後「A S G 水位低(狭域水位の 25%) + A S G 給水 < 蒸気流量不一致」原子炉トリップによる出力低下に伴い、N I S 出力、1次冷却材平均温度(T_{avg})、加圧器水位、加圧器圧力が低下しているが、いずれのパラメータも解析結果と実機のプラント挙動とが

良く一致しており、解析により今回の事故挙動を再現することができた。

また、SG水位については、主給水ポンプトリップに伴う主給水流量の低下、およびその後の原子炉トリップによる2次系水中のボイド減少により低下している。

炉心健全性評価

図-1.1-(8)に最小DNBRの再現解析結果を示す。

事故発生前の最小DNBRは、約2.03であった。事故発生後は、緊急負荷降下および原子炉トリップにより原子炉出力が低下したため、炉心の冷却状態が悪化することはなく、最小DNBRは事故発生前の値を下回ることにはなかった。

従って、今回の事故においては、最小DNBRは、事故期間中を通して、許容限界値1.17を下回ることにはなく、炉心の健全性が問題となることはなかった。

注：DNBRは限界熱流束と実際の熱流束の比（ $DNBR = \text{限界熱流束} / \text{実際の熱流束}$ ）として定義されており、この値が大きいほど安全裕度は大きい。

限界熱流束は、燃料被覆管から1次冷却材への熱伝達が低下し、燃料被覆管温度が急上昇し始める熱流束。

表-1.1-(1) 今回の事故の再現解析の条件

項 目	解 析 条 件	解 析 条 件 設 定 の 根 拠
1．解析期間 解析開始 解析完了	時刻 15:22:00 時刻 15:31:00	事象発生以前 SGへの給水がほぼ停止する C-主給水ポンプトリップ 時点まで
2．2次系配管破損の発生状況等 破損発生時刻 破損発生箇所 破口面積	時刻 15:22 脱気器入口配管 A 系統 0.43m ²	今回の事故実績 今回の事故実績 今回の事故実績より仮定 (破損部の実測値に基づき面積を計算)
3．初期条件 発電機出力 復水流量 原子炉出力 1次冷却材平均温度 SG水位	827.2MW 3,425t/h 99.6% 304.4 44%	事故発生前のプラント状態 (プラント計算機出力データに基づく) " " " "
4．過渡条件 主給水流量 主蒸気流量 発電機出力 復水器真空度	実機プラントデータ " " "	事故発生中のプラント状態 (プラント計算機出力データに基づく) " " " "
5．炉心データ 減速材温度係数 トリップ時の添加反応度価値 核的エンタルピ上昇熱水路係数($F_{\Delta H}^N$) 軸方向出力分布(F_z)	-52.3pcm/ 8.4%Δk/k 1.474 1.149	実炉心測定データに基づく事故発生時の燃焼度 14,123MWd/t 時点での解析値

表-1.1-(2) 今回の事故進展と再現解析のクロノロジ比較

項 目	今回の事故	再現解析	備考
緊急負荷降下開始 (5 % / 分)	1 5 : 2 6 : 5 0	1 5 : 2 6 : 5 0 (入力値)	今回の事故実績より設定 (プラント計算機出力データに基づく)
主給水ポンプトリップ	1 5 : 2 8 : 0 6	1 5 : 2 8 : 0 6 (入力値)	今回の事故実績より設定 (プラント計算機出力データに基づく)
補助給水ポンプ起動	1 5 : 2 8 : 0 6	1 5 : 2 8 : 0 6 (入力値)	今回の事故実績より設定 (プラント計算機出力データに基づく)
原子炉トリップ	1 5 : 2 8 : 1 3	1 5 : 2 8 : 1 3 (評価値)	事故実績と再現解析による原子炉トリップ 時間は一致した

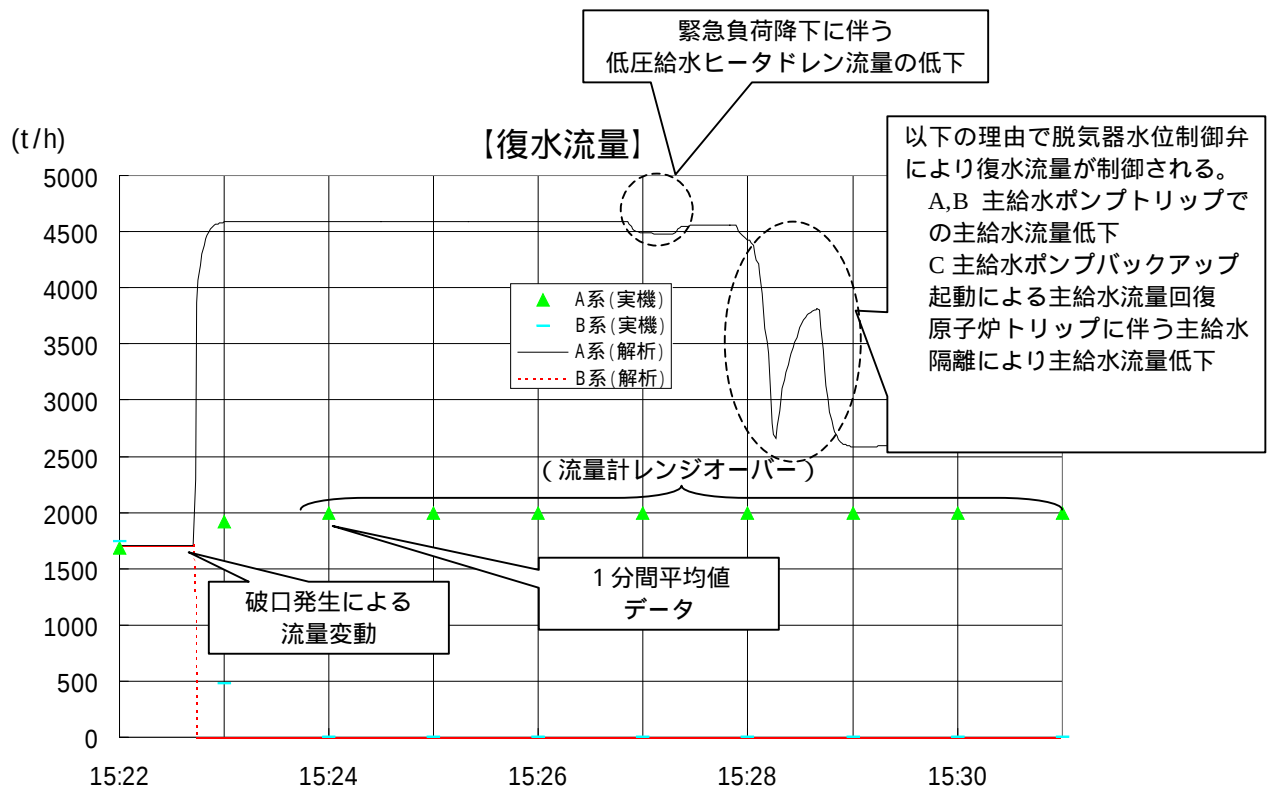


図-1.1-(1) 復水（オリフィス通過）流量

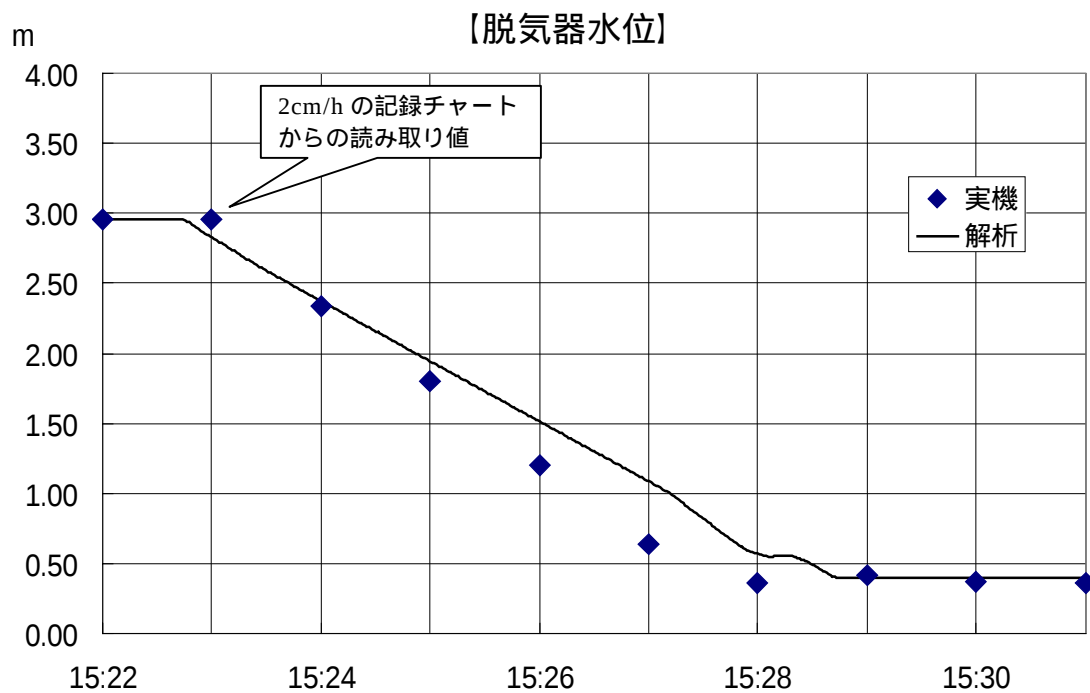


図-1.1-(2) 脱気器水位

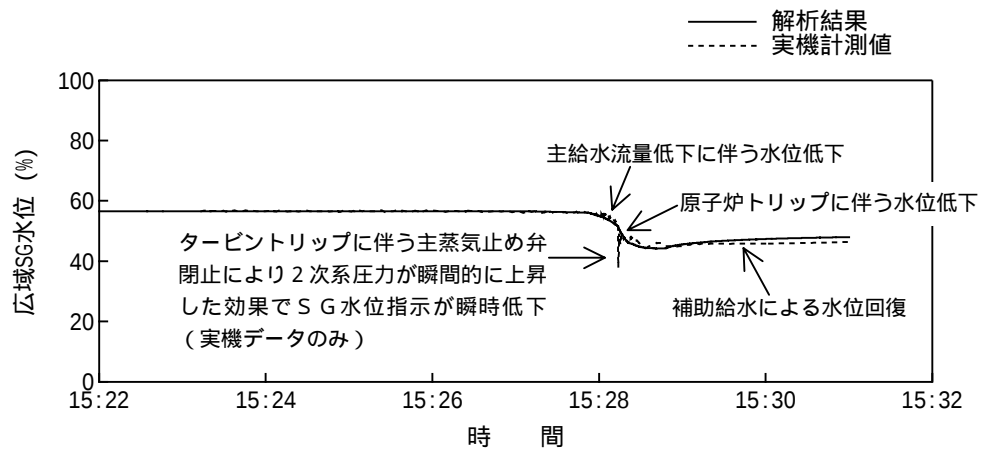


図-1.1-(3) SG水位の解析・実績比較図

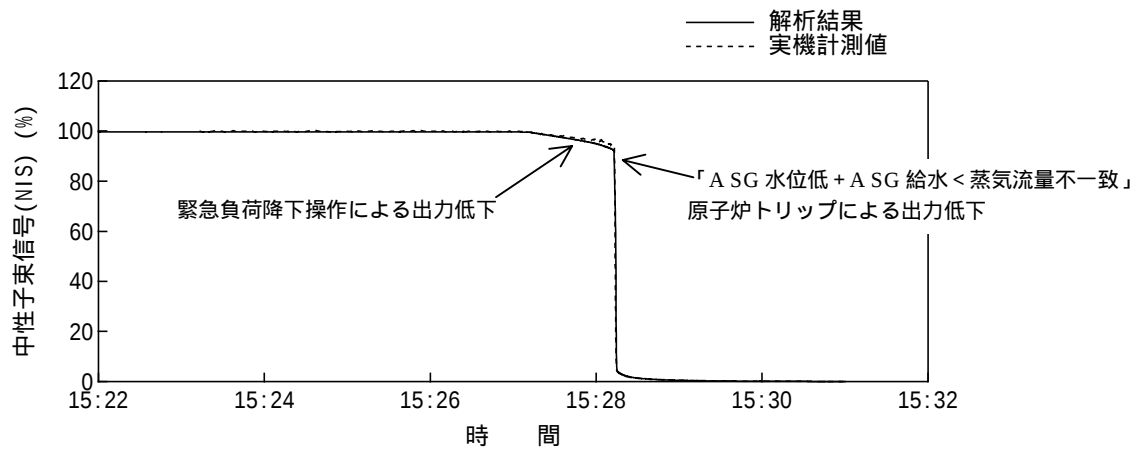


図-1.1-(4) NIS出力の解析・実績比較図

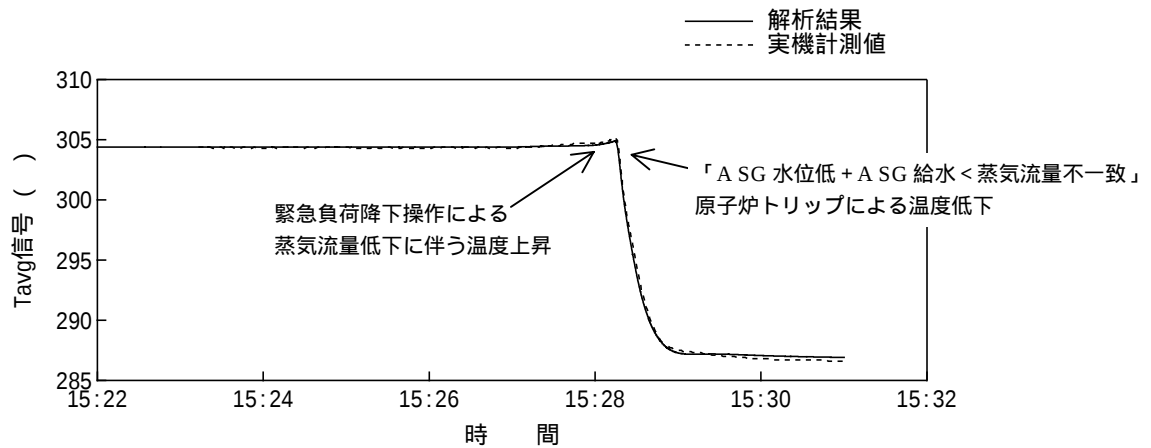


図-1.1-(5) 1次冷却材平均温度の解析・実績比較図

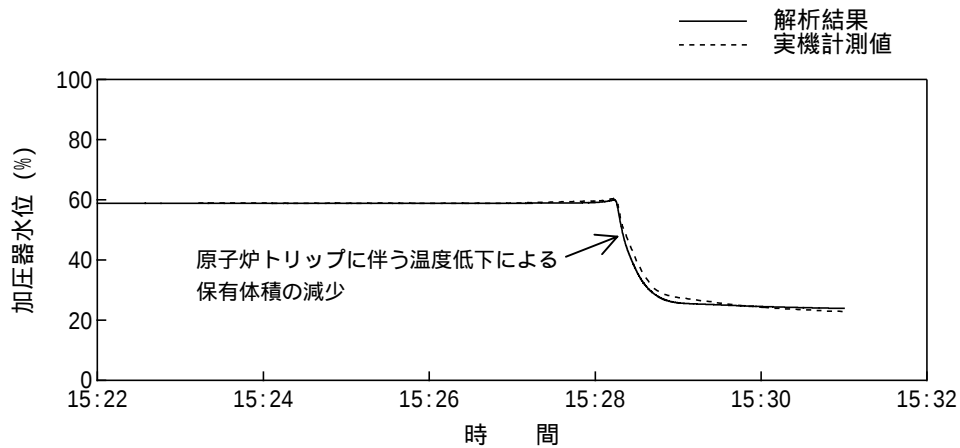


図-1.1-(6) 加圧器水位の解析・実績比較図

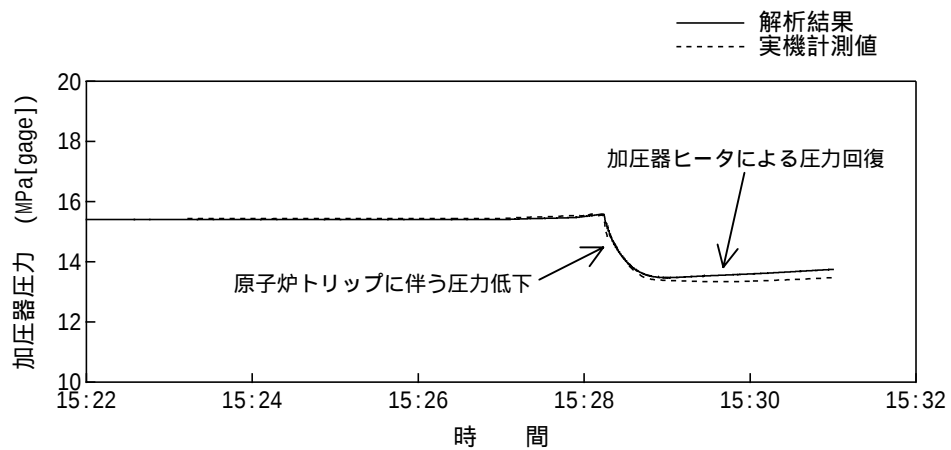


図-1.1-(7) 加圧器圧力の解析・実績比較図

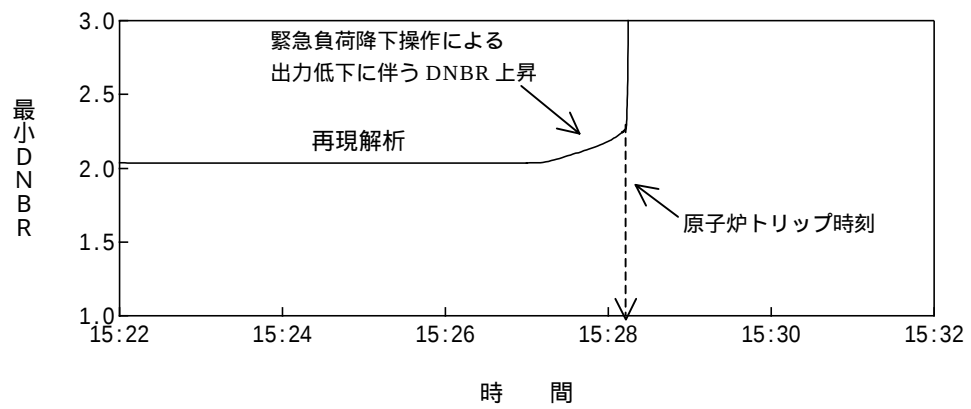
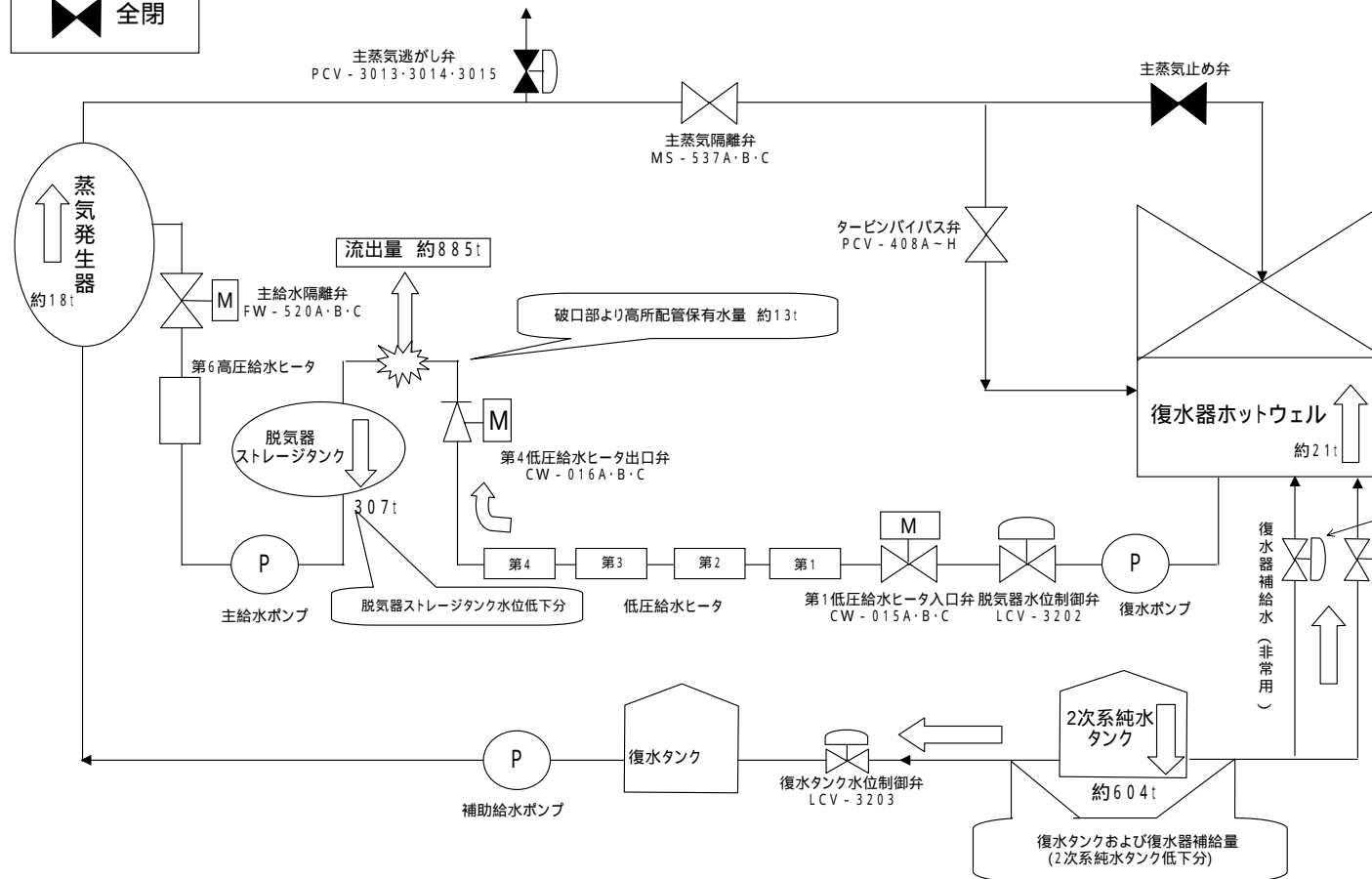


図-1.1-(8) 最小 DNBR の再現解析結果

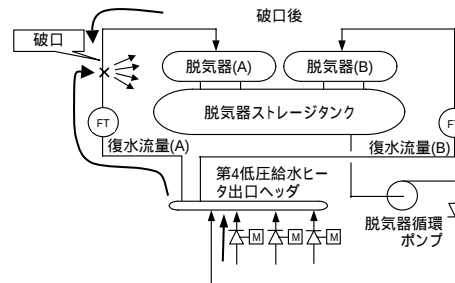
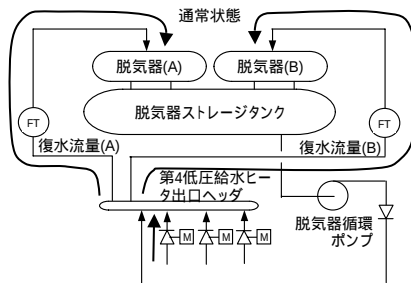
凡例



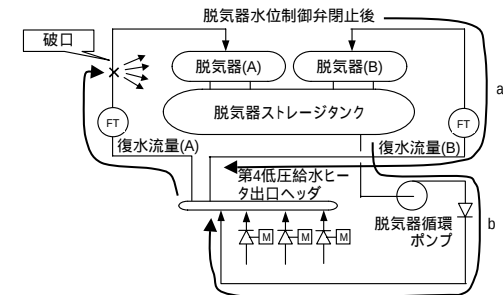
美浜3号機 破口部からの流出経路および流出量について



流出量算出条件	
1.時間	破口発生から主蒸気隔離まで (2004/8/9 15:22 ~ 16:05)
2.流出量算出の考え方	破口箇所からの漏洩を系統の水収支で評価した。 ～は、左図の～に該当する。
(1)系統への供給水量	2次系純水タンクからの補給量 約604t (タンク水位低下分)
(2)系統保有水減少分	脱気器ストレージタンク水位変化量 2.9m → 0.25m 約307t 配管保有水量 約13t (破口部より高所の配管分が流出)
(3)系統保有水増加分	復水器ホットウェル水位増加分 約21t
	蒸気発生器保有水量増加分 約18t
3.流出量	・2次系純水タンクからの補給量 - (+) = 約565t ・系統保有水減少分 + = 約320t
	約885t
(運転中の2次系の保有水量は約1,100tである)	



殆どの復水が破口より流出
(B系の流量が0となり全ての復水がA系から流出)



復水の流入が停止
a. 脱気器(B)行復水ラインの残水が逆流し流出
b. 脱気器循環ポンプを通り脱気器水が流出

【流出量算出条件】

1.時間

破口発生から主蒸気隔離まで
(2004/8/9 15:22 ~ 16:05)

2.流出量算出の考え方

破口箇所からの漏えいを系統の水収支で評価した。

(1)系統への供給水量

2次系純水タンクからの補給量 約604t

破口発生～主蒸気隔離までに2次系純水タンクから復水器ホットウェルおよび蒸気発生器に供給された補給量は約604tである。

(添付資料 - 18(3/9)参照)

(2)系統保有水減少分

脱気器ストレージタンク水位変化量 約307t

脱気器ストレージタンク水位は、破口発生により2.9m → 0.25mに急激に低下しておりその水量は約307tであり、主にSGを介し復水器ホットウェルへ流入し脱気器水位制御弁閉止までの間に破口箇所より流出した。

(添付資料 - 18(4/9、5/9)参照)

配管保有水量 約13t

破口部より高所の配管の容量約13tが流出した。

この容量には、破口発生後、蒸気として放出されたものと脱気器水位制御弁閉止後、破口箇所より高所の復水が流出したものである。

(添付資料 - 18(6/9、7/9)参照)

(3)系統保有水増加分

復水器ホットウェル水位増加分 約21t

破口発生により復水器ホットウェル水は、脱気器水位制御弁閉止までの間、破口箇所より流出し復水器ホットウェル水位は低下する。

その後、2次系純水タンクからの補給により事故発生前の水位より約55mm(21t)高い水位で保持された。(事故発生前の水位以上に補給されたものは漏えいには寄与していない。)

(添付資料 - 18(8/9)参照)

SG保有水量増加分 約18t

主蒸気隔離時のSG水位(狭域水位 - 5%)に相当する保有水量と破口前のSG水位(狭域水位44%)に相当する保有水量の差は約18tでありこの増加分は、漏えいに寄与していない。

(添付資料 - 18(9/9)参照)

3.流出量

流出量は、2次系純水タンクから系統(復水器ホットウェル、SG)に補給された量から漏えいに寄与していないものを差し引いたもの(- (+))と系統保有水の減少分

(+)とをたし合わせた約885tとなる。

・2次系純水タンクからの補給量

2次系純水タンクからの補給量

復水器ホットウェル水位増加分

SG保有水量増加分

・系統保有水減少分

脱気器ストレージタンク水位変化量

配管保有水量

約604t

約21t

約18t

565t

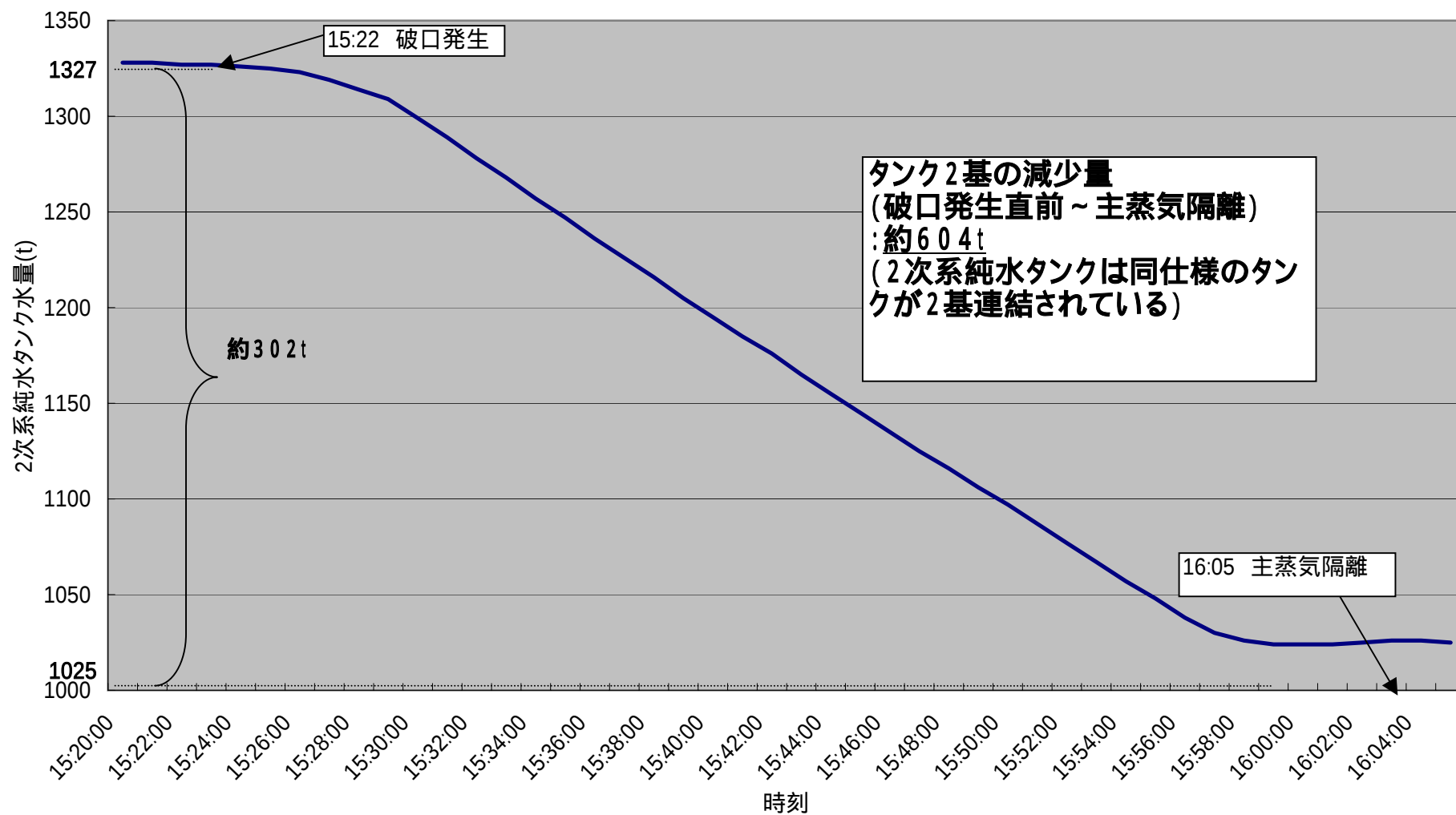
約307t

約13t

320t

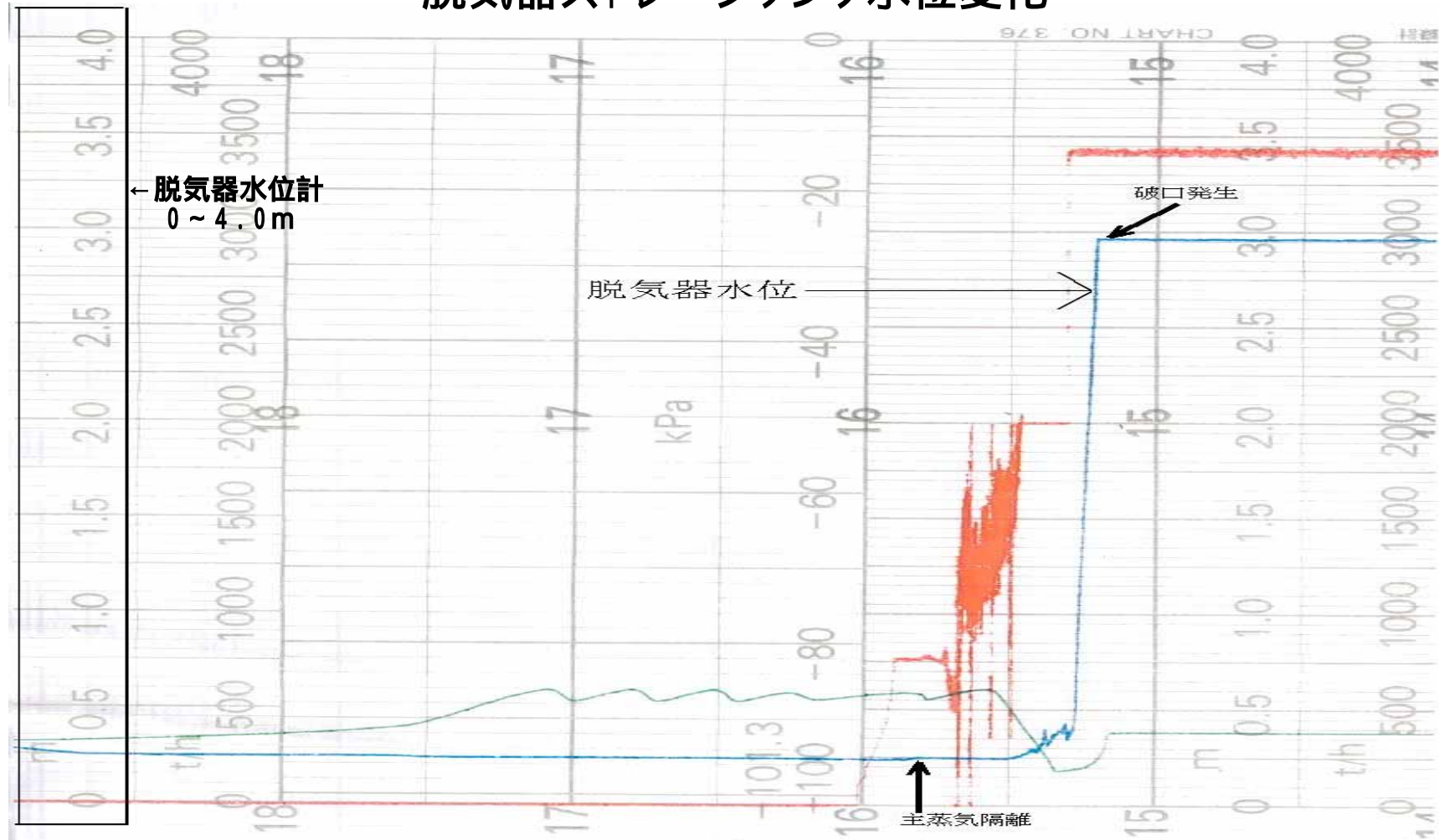
885t

2次系純水タンク(1基) 水量変化(運転状態管理システムより作成)



運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取り出す装置

脱気器ストレージタンク水位変化



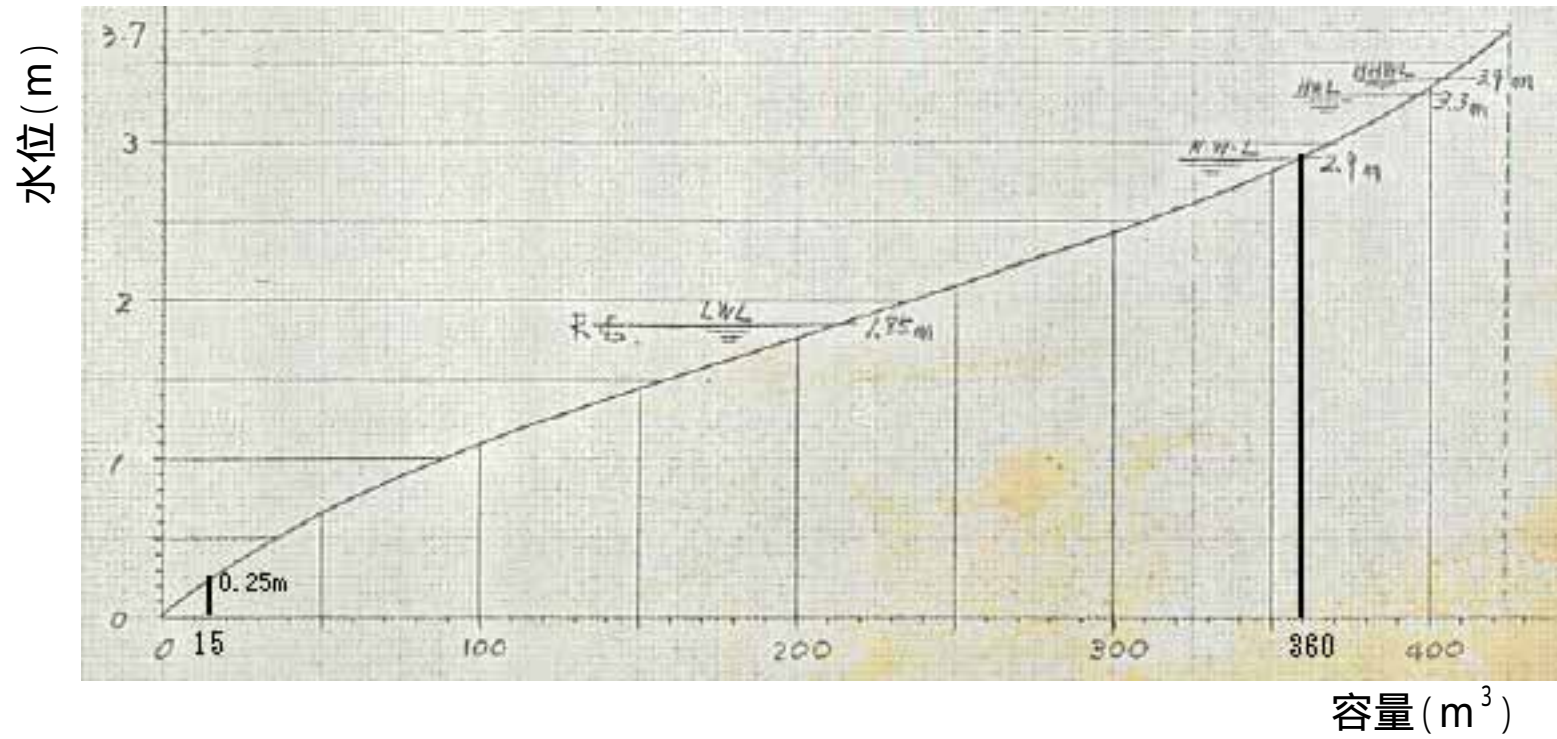
脱気器ストレージタンク水位低下量(破口発生直前～主蒸気隔離): 2.65m (2.9m ~ 0.25m)

脱気器ストレージタンク水量減少量(破口発生直前～主蒸気隔離):
 $(360 - 15) (\text{m}^3) \times 0.89 (\text{t} / \text{m}^3) = \text{約} 307 \text{t}$

添付資料-18(5/9)より

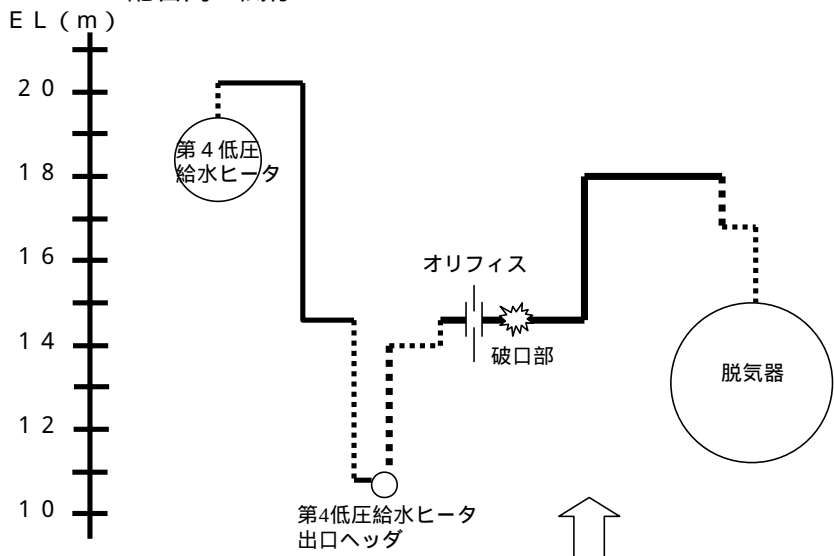
通常運転温度(180)で密度補正

脱気器ストレージタンク水位容量曲線

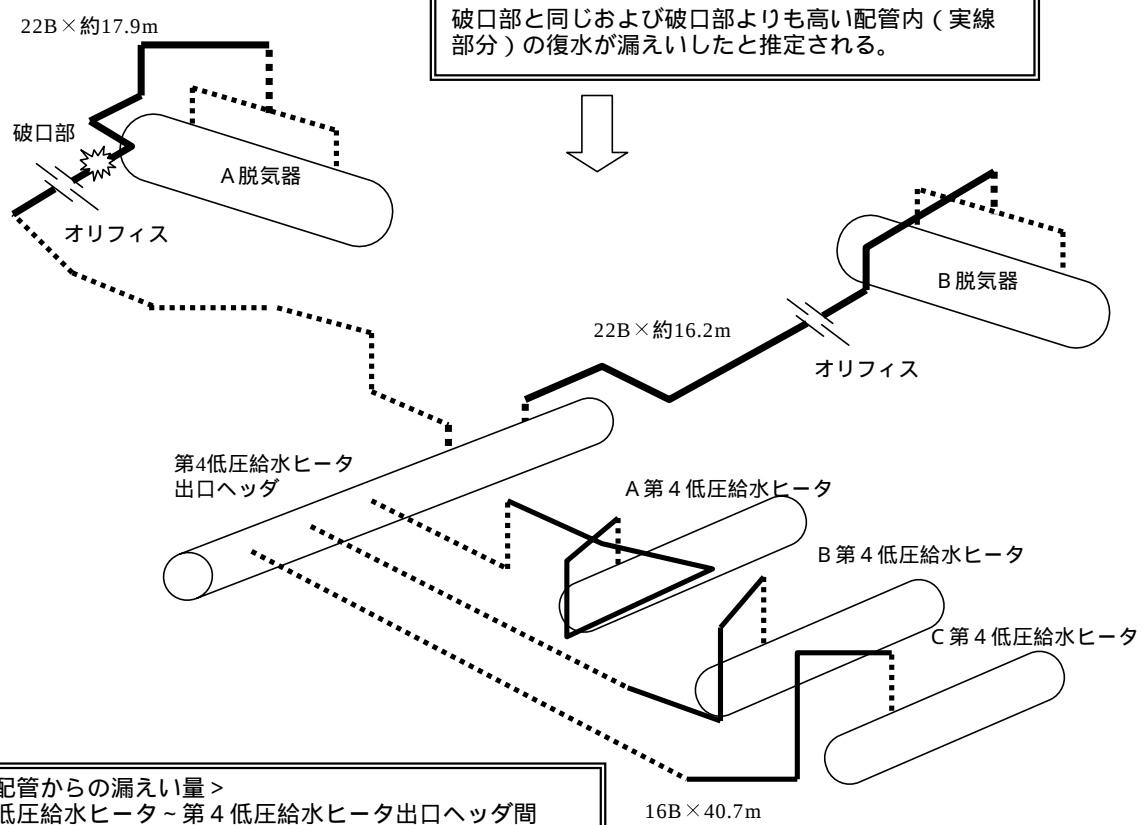


美浜 3 号機 2 次系配管破損時における漏えい量（配管容量分）

< 配管高さ関係 >



< スケルトン図 >



破口部と同じおよび破口部よりも高い配管内（実線部分）の復水が漏えいしたと推定される。

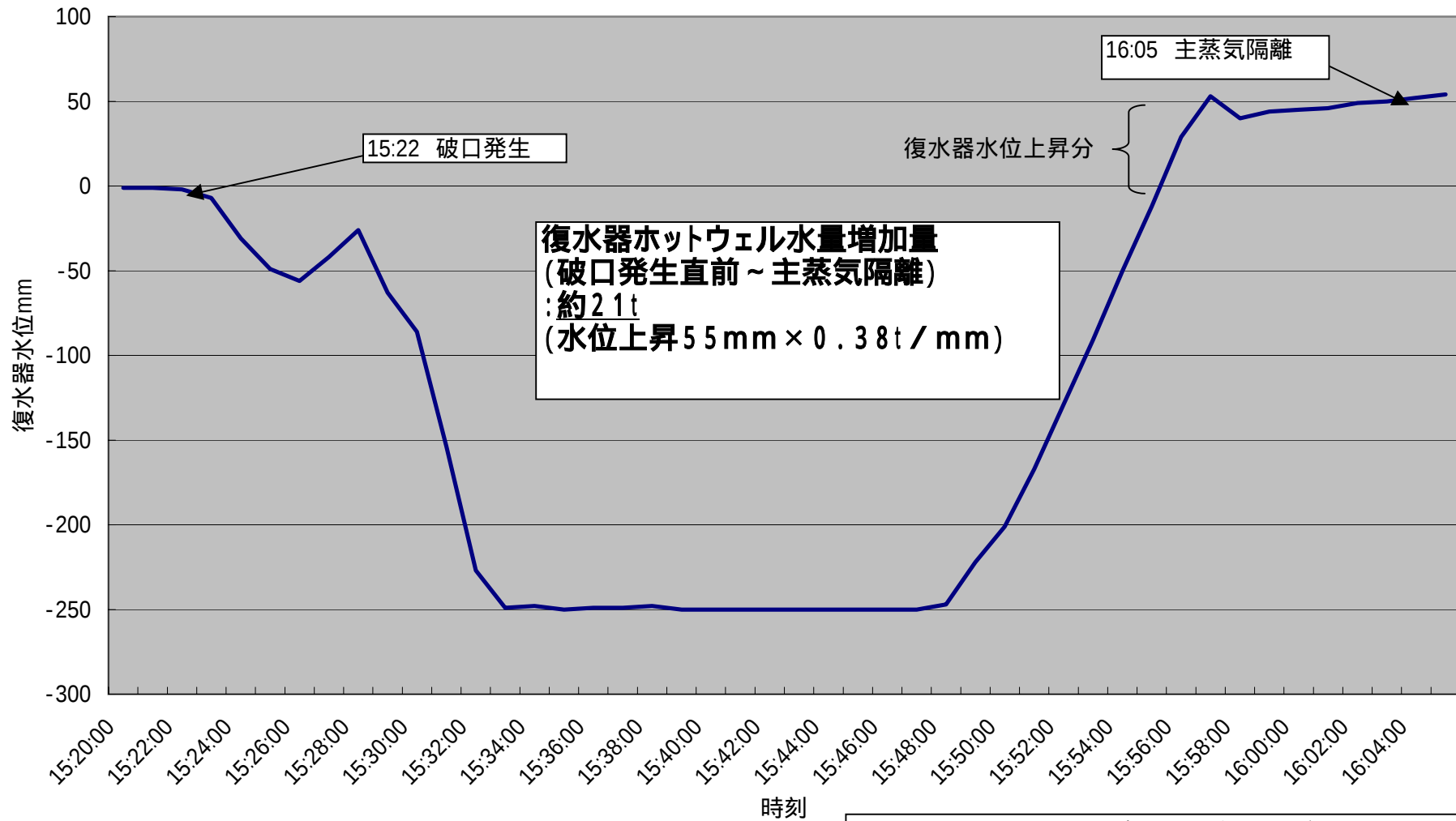
< 復水配管からの漏えい量 >
● 第 4 低圧給水ヒータ～第 4 低圧給水ヒータ出口ヘッダ間（16B）
 $(0.406/2)^2 \times \pi \times 40.7 \quad 5\text{m}^3$
● 第 4 低圧給水ヒータ出口ヘッダ～A・B脱気器間（22B）
 $(0.559/2)^2 \times \pi \times (17.9+16.2) \quad 8\text{m}^3$
合計：5 + 8 = 13m³

第4低圧給水ヒータ出口温度変化(運転状態管理システムより作成)

測定箇所 アドレス 時 刻	1ヒータ入口	1Aヒータ出口	2Aヒータ出口	3Aヒータ出口	4Aヒータ出口	4Bヒータ出口	4Cヒータ出口	
	T3210	T3211	T3217	T3220	T3223	T3224	T3225	
2004/8/9 15:21	46.4	71.9	99.9	122.5	144.5	145.2	144.9	← 破口発生 (火報警報発信時刻)
2004/8/9 15:22	46.4	71.9	99.9	122.6	144.5	145.2	144.9	
2004/8/9 15:23	46.4	71.8	99.8	122.3	144.4	145.0	144.7	
2004/8/9 15:24	46.3	71.3	99.2	121.7	144.1	144.7	144.4	
2004/8/9 15:25	46.3	71.1	98.9	121.4	143.8	144.3	144.2	
2004/8/9 15:26	46.3	71.0	98.8	121.2	143.6	144.2	144.1	15:28 原子炉トリップ
2004/8/9 15:27	46.3	70.9	98.7	121.2	143.5	144.1	144.0	
2004/8/9 15:28	46.3	70.3	97.7	120.2	142.6	143.4	143.1	
2004/8/9 15:29	46.3	59.1	74.2	104.1	128.2	128.0	128.5	
2004/8/9 15:30	46.3	50.9	53.4	71.9	96.5	96.4	97.8	
2004/8/9 15:31	45.8	48.8	49.0	57.4	70.9	71.5	73.1	15:44 脱気器水位制御弁閉止
2004/8/9 15:32	44.0	46.7	46.6	51.7	59.7	60.6	61.8	
2004/8/9 15:33	42.9	45.0	44.6	48.3	54.4	55.3	56.3	
2004/8/9 15:34	41.8	43.9	43.6	45.9	51.1	51.9	52.7	
2004/8/9 15:35	41.0	42.9	42.9	44.2	48.5	49.2	50.0	
2004/8/9 15:36	40.1	41.8	42.1	43.1	46.5	47.2	47.9	15:44 脱気器水位制御弁閉止
2004/8/9 15:37	39.2	40.8	41.3	42.3	45.2	45.8	46.3	
2004/8/9 15:38	38.4	40.0	40.5	41.6	44.0	44.6	45.2	
2004/8/9 15:39	37.8	39.2	39.8	40.9	43.0	43.7	44.2	
2004/8/9 15:40	37.2	38.4	39.0	40.3	42.3	42.8	43.3	
2004/8/9 15:41	36.7	37.8	38.3	39.6	41.5	41.9	42.4	16:05 主蒸気隔離 ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 15:42	36.2	37.3	38.2	39.0	40.8	41.2	41.6	
2004/8/9 15:43	35.9	36.9	38.9	38.6	40.2	40.5	40.9	
2004/8/9 15:44	35.6	36.5	39.0	38.6	39.6	39.9	40.3	
2004/8/9 15:45	35.3	36.2	38.8	39.0	39.3	39.5	39.8	
2004/8/9 15:46	35.3	37.0	38.7	39.0	39.2	39.2	39.5	16:05 主蒸気隔離 ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 15:47	35.3	37.2	38.7	39.0	39.1	39.0	39.4	
2004/8/9 15:48	35.3	37.2	38.7	39.0	39.1	39.0	39.2	
2004/8/9 15:49	35.4	37.5	38.7	39.1	39.1	38.9	39.2	
2004/8/9 15:50	35.6	38.0	38.8	39.3	39.0	38.9	39.1	
2004/8/9 15:51	35.7	38.1	38.6	39.3	38.9	38.8	39.1	16:05 主蒸気隔離 ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 15:52	36.0	38.5	38.7	39.4	39.0	38.8	39.0	
2004/8/9 15:53	36.1	38.8	38.7	39.5	39.3	38.8	39.0	
2004/8/9 15:54	36.4	39.0	38.7	39.8	39.3	38.8	39.0	
2004/8/9 15:55	36.6	39.2	38.6	39.8	39.3	38.8	39.0	
2004/8/9 15:56	36.8	39.4	38.6	39.9	39.4	38.8	39.1	16:05 主蒸気隔離 ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 15:57	37.0	39.7	38.7	40.0	39.5	38.8	39.2	
2004/8/9 15:58	37.0	39.8	38.7	40.0	39.7	38.9	39.2	
2004/8/9 15:59	37.1	40.0	38.7	40.1	39.9	38.8	39.2	
2004/8/9 16:00	37.2	40.3	38.7	40.0	40.0	38.9	39.2	
2004/8/9 16:01	37.3	40.6	38.8	40.0	40.1	38.9	39.2	16:05 主蒸気隔離 ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 16:02	37.4	41.0	38.9	40.1	40.2	38.9	39.3	
2004/8/9 16:03	37.5	41.3	39.0	40.2	40.3	38.9	39.2	
2004/8/9 16:04	37.6	41.7	39.0	40.2	40.3	38.9	39.2	
2004/8/9 16:05	37.6	41.8	39.0	40.3	40.5	38.9	39.3	
2004/8/9 16:06	37.6	41.9	39.0	40.3	40.6	38.9	39.2	16:05 主蒸気隔離 ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 16:07	37.8	42.1	39.0	40.2	40.7	38.9	39.2	
2004/8/9 16:08	37.8	42.4	39.1	40.3	40.8	38.9	39.3	
2004/8/9 16:09	37.9	42.6	39.2	40.4	41.0	39.0	39.2	
2004/8/9 16:10	38.0	42.7	39.3	40.4	41.0	39.0	39.4	
2004/8/9 16:20	38.7	43.7	39.9	40.7	41.9	39.1	39.5	18:04 第4低圧給水ヒータ 出口弁閉止
2004/8/9 16:30	39.1	43.8	40.7	40.9	42.9	39.5	39.7	
2004/8/9 16:40	39.4	43.8	41.4	41.0	43.3	39.9	39.9	
2004/8/9 16:50	39.7	43.5	42.1	41.2	44.1	40.1	40.2	
2004/8/9 17:00	39.9	43.2	42.6	41.2	44.5	40.7	40.4	
2004/8/9 17:10	40.1	42.8	43.0	41.5	45.7	41.0	40.9	18:04 第4低圧給水ヒータ 出口弁閉止
2004/8/9 17:20	40.4	42.5	43.3	41.5	47.2	41.6	41.3	
2004/8/9 17:30	40.5	42.1	43.5	41.6	49.6	42.0	41.6	
2004/8/9 17:40	40.7	41.9	43.8	41.6	51.7	42.7	42.1	
2004/8/9 17:50	44.4	43.9	39.5	44.6	54.9	44.4	46.9	
2004/8/9 18:00	44.3	43.8	39.9	44.5	56.6	44.8	47.0	18:04 第4低圧給水ヒータ 出口弁閉止
2004/8/9 18:04	44.4	43.8	40.2	44.6	57.1	45.0	47.1	
2004/8/9 18:05	44.4	43.7	40.1	44.6	57.0	45.1	47.1	

運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置

復水器ホットウェル水位変化(運転状態管理システムより作成)



運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置

SG 保有水量増加量

破口発生直前のSG(1基)水量:約51t(通常運転時(狭域水位44%)の設計値)

主蒸気隔離時のSG(1基)水量:約57t

SG水量増加量(破口発生直前～主蒸気隔離):(57 - 51)t × 3基 = 約18t

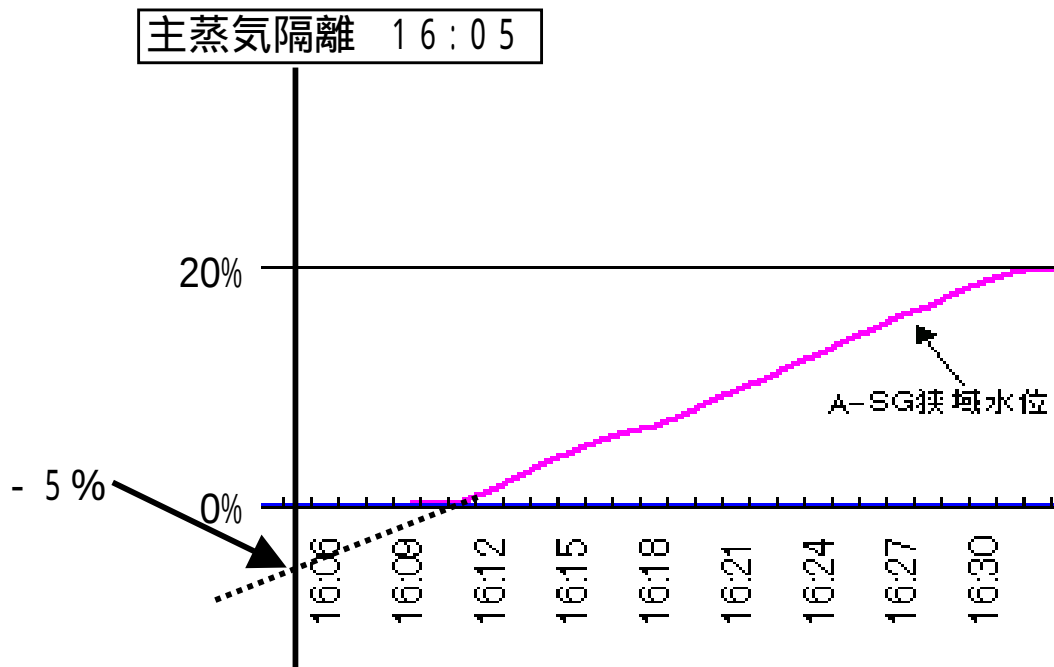
主蒸気隔離時のSG水位は狭域水位0%未満であったため不明であるが、その後の水位回復傾向から狭域水位 - 5%程度であったと推定される。その時点においてSG器内が飽和状態であったと仮定して算出した。
(算出根拠)

狭域水位 - 5%での水、蒸気体積:71.7m³(水)、92.9m³(蒸気)

主蒸気圧力:6.0MPa[gage]

飽和水密度at6.0MPa[gage]:755.8kg/m³

飽和蒸気密度at6.0MPa[gage]:31.6kg/m³



美浜発電所 3 号機

補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合について

関西電力株式会社
平成 1 7 年 3 月

1. 件 名

美浜発電所 3 号機 補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合について

2. 事象発生の日時

平成 16 年 8 月 9 日 17 時 13 分 (A、C 補助給水流量制御弁開動作せず)

3. 事象発生の電気工作物

タービン付属設備 A、C 補助給水流量制御弁

4. 事象発生前の状況

定格熱出力一定運転中

5. 事象発生の状況

平成 16 年 8 月 9 日に発生した美浜発電所 3 号機 2 次系配管破損事故時において、同日 15 時 28 分、電動補助給水ポンプが自動起動した後、蒸気発生器水位異常低 (狭域水位の 13%) によりタービン動補助給水ポンプが自動起動した。その後、補助給水流量が必要流量確保できていることから、15 時 32 分に 1 次冷却材温度低下防止のため、タービン動補助給水ラインの A、B、C 補助給水流量制御弁 (3HCV-3120(以下「A 弁」という)、3HCV-3121(以下「B 弁」という)、3HCV-3122(以下「C 弁」という)) 3 台を閉止した。

その後、蒸気発生器の水位が回復し安定していることから、17 時 12 分にタービン動補助給水ポンプを停止し、引き続き同ポンプを自動待機状態とするため、17 時 13 分に A ~ C 弁 3 台の開操作を中央制御室の手動操作器により実施したところ、A、C 弁 2 台が閉止したまま開動作しなかった。

【時系列】

平成 16 年 8 月 9 日

15 時 28 分 A、B 電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ自動起動

15 時 32 分 A、B、C 弁 3 台閉止

17 時 12 分 タービン動補助給水ポンプ停止

17 時 13 分 A、B、C 弁 3 台を開操作するも A、C 弁 2 台が開動作せず

18 時 30 分 A、C 弁について、弁グランドを緩めた後、前回同様に弁の開操作を実施したが、弁駆動用ダイヤフラム圧力は弁開度 100% 相当であるにもかかわらず、弁開度は 0% で開動作せず

18 時 38 分 運転上の制限を満足していないと判断 (保安規定第 66 条)

平成 16 年 8 月 10 日

01 時 20 分 A、C 弁について、再度前回同様に弁の開操作を実施したところ、弁が正常に開閉動作した

05 時 55 分 運転上の制限を満足している状態に復帰 (原子炉運転モード 4 への移行により運転上の制限が適用除外となった)

6 . 点検調査結果

(添付 - 3、4)

A、C 弁の一時的な動作不具合について、F T 図により要因の洗い出しを行い、A、C 弁について次の点検を実施した。なお、B 弁についても、比較のために同様の点検を実施した。

(1) 動作確認結果

A ~ C 弁について、分解点検前に次の動作確認を実施した。なお、A、C 弁については、動作確認によるケージ (弁座)、プラグ (弁体) の状態変化を最小限に留めるために、弁の開閉動作回数を必要最小限となるように計画、実施した。

a . 手動操作器動作確認

(添付 - 5)

A、C 弁については、中央制御室の手動操作器ダイヤルを操作して、各ダイヤル操作値に対する手動操作器出力信号 (弁開度制御信号) を確認した結果、判定基準内であり異常はなかった。

b . 手動操作器操作による弁動作確認

(添付 - 5)

B 弁については、中央制御室の手動操作器ダイヤルを操作して、弁の動作状況の確認 (開閉確認) を実施した結果、異常はなく正常に開閉動作した。また、手動操作器の各ダイヤル操作値に対する出力信号 (弁開度制御信号) を確認した結果、判定基準内であり異常はなかった。

c . 模擬信号入力による弁動作確認 (開閉確認)

(添付 - 6)

A ~ C 弁について、現地の電空(I/P)変換器にランプ状の模擬信号を入力し、弁の動作確認を実施した結果、異常はなく開閉動作すること、及び同変換器からの信号を受けたポジショナ出力が適正であることを確認した。

なお、B 弁については、さらに現地の電空(I/P)変換器にステップ状の模擬信号を入力し、弁の動作確認を実施した結果、異常はなく正常に動作すること、及び同変換器からの信号を受けたポジショナ出力が適正であることを確認した。

d . 電空(I/P)変換器の単体動作確認

A ~ C 弁について、現地の電空(I/P)変換器にステップ状の模擬信号を入力して、同変換器の単体動作確認を実施した結果、判定基準内であり異常はなかった。

(2) 減圧弁圧力設定値確認結果

(添付 - 7)

A ~ C 弁について、電空(I/P)変換器及びポジショナへ空気を供給する減圧弁の圧力設定値を確認した結果、判定基準内で適正な設定値となっていることを確認した。

(3) 外観点検結果

(添付 - 8)

A ~ C 弁の制御系構成品 (電空(I/P)変換器、減圧弁、ポジショナ)、弁本体及び弁駆動部について、外観目視点検を実施した結果、異常 (水分の付着、変形) は認められなかった。

(4) 弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果

(添付 - 9)

A ~ C 弁の空気系統 (弁駆動部、制御系構成品) について、石鹼水による漏えい

確認を実施した結果、動作機能に影響する空気の漏えいはなかった。

<漏えい確認結果>

A弁：漏えいはなかった。

B弁：駆動空気系でカニ泡程度の極く微量な漏えいが認められたが、動作機能に影響を及ぼすものではなかった。

C弁：漏えいはなかった。

(5) 補助給水流量制御弁分解点検結果

(添付 - 10、11)

A ~ C 弁について (1) ~ (4) 項の点検を実施した後、次の分解点検を実施した。

a . 弁本体分解点検

(a) 弁グランド部

弁グランド部について、取付寸法計測や分解点検を実施した結果、グランド押さえの片締め・閉め過ぎ、パッキン金属成分の露出、ランタンリングの焼き付き・変形及びパッキン止めの変形等の異常はなかった。

(b) 弁棒

弁棒について、外観目視確認を実施した結果、曲がり、焼き付き、傷・バリの発生、腐食及びヨークとの連結不良等の異常はなかった。

(c) ガスケット

ガスケットについて、外観目視確認を実施した結果、ボンネットガスケット及び弁座ガスケットともに、食い込みによる偏り等の異常はなかった。

(d) 弁体、弁座

弁体及び弁座について、外観目視確認を実施した結果、弁体の噛み込み、異物の噛み込み及び腐食等の異常はなかった。ただし、B 弁については、弁体及び弁座のシート面に、A、C 弁では見られなかった肌荒れやピット状のくぼみが確認された。

b . 弁駆動部分分解点検

(a) バネ

バネについて、外観目視確認を実施した結果、噛み込み、曲がり及び変形等の異常はなかった。

(b) ヨーク及びボンネット

ヨーク及びボンネットについて、外観目視確認を実施した結果、変形、ひずみ及びフレームとの擦り傷等の異常はなかった。

(c) ダイヤフラム部

ダイヤフラム部について、外観目視確認を実施した結果、ダイヤフラムの破損、ダイヤフラムケースとヨークの焼き付き及び異物の噛み込み等の異常はなかった。

(6) 補助給水ライン逆止弁分解点検結果

(添付 - 12)

A ~ C 弁の出口側 (蒸気発生器側) にある逆止弁について、分解点検を実施した結果、弁体、弁棒及び弁座等にシート不良や動作不良等の異常はなかった。

(7) 弁の設計確認

(添付 - 13,14,15)

A ～ C 弁について、弁の開放力に影響を及ぼす可能性のある弁棒、弁体、弁座、グランドパッキン及びバネについて、設計通りであることの確認を実施した結果、弁棒、弁体、弁座の寸法、グランドパッキンの仕様及びバネ定数は設計通りであった。また、上記の各部品に経年的な変化が発生していないか設計との比較確認を実施した結果、異常はなかった。

なお、当該弁に対する設計条件として、プラント異常収束のための要求機能は満足しているが、通常運転時の「開待機」運用に対する設計条件には、当該事象発生時の系統状態が反映されていないことをプラントメーカーから確認した。

(8) 系統圧力と弁開放力に係る調査結果

事故当時のタービン動補助給水系統圧力や各弁の開放力について、A、C 弁の動作機能に影響を及ぼすような挙動や変動がなかったか、次の通り調査を実施した。

a . 系統圧力の確認

(添付 - 16 ～ 19)

(a) A ～ C 弁出口圧力

A、C 弁が開動作しなかった時の A ～ C 弁の出口側圧力（以下「背圧」という）は、主蒸気圧力、配管圧力損失、静水頭（水）及び静水頭（蒸気）から推定すると、A、B 弁は約 6.29MPa、C 弁は約 6.28MPa であった。

また、主蒸気隔離弁閉止による主蒸気圧力の上昇時点から、1 次冷却材系統のクールダウンによる主蒸気圧力降下途中までの間（主蒸気圧力 背圧の関係が保持されている間）、背圧は、A ～ C 弁からその下流側にある逆止弁までの配管内に閉じ込められた状態にあったと考えられる。（ただし、B 弁については、後述するように、弁シートリークの発生が想定され、タービン動補助給水ポンプの停止に伴い、背圧が低下していたと考えられる。）

さらに、A、C 弁が開動作した 8 月 10 日 01 時 20 分の時点では、背圧は、約 4.1MPa まで低下していた。

(b) A ～ C 弁入口圧力

A ～ C 弁の入口圧力は、タービン動補助給水ポンプの運転中は約 7 ～ 8MPa であったが、同ポンプ停止後は約 0.2MPa まで低下していた。

b . 弁開放力の確認

(添付 - 20)

A ～ C 弁のポンプ停止中の弁開放力は、弁全閉時のバネ荷重、弁入口圧力による弁体の押上力及びグランドパッキン摺動抵抗等から推定した結果、A 弁は約 5.79MPa、B 弁は約 5.88MPa、C 弁は約 6.23MPa であり、いずれの弁開放力も A、C 弁が開動作しなかった時の背圧（A、B 弁：約 6.29MPa、C 弁：約 6.28MPa）を下回っていることを確認した。

(9) 過去事象の調査

過去 3 回のプラント自動停止時にタービン動補助給水ポンプが自動起動した際の A ～ C 弁の動作状況について、当時の当直員への聞き取りや記録により調査した結

果、今回と同様な事象の発生は確認できなかった。しかし、過去のプラント自動停止時においても、タービン動補助給水ポンプ停止前に A ～ C 弁を閉止する基本操作は実施していたと考えられることから、過去に同様の不具合が発生しなかったのは、弁の開操作を背圧が弁開放力を下回っている時期（タービン動補助給水ポンプ停止直後でポンプが慣性により回転している間の弁入口側に残圧があって弁開放力が大きい時期、又は主蒸気圧力が降下して背圧が低下した時期）に行っていた、あるいは、弁のシートリークによりポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が加わらなかったためと考えられる。

7. 要因の評価

F T 図に基づく点検調査結果を踏まえて、今回の A、C 弁の一時的な動作不具合の要因評価を、次のとおり実施した。

(1) 制御系について

制御系構成機器の特性確認、設定値確認及び動作確認等を実施した結果、異常はなかったことから、制御系に要因となる不良はなかった。また、B 弁の点検結果と比較しても同様な状況であり、問題なかった。

(2) 弁本体について

分解点検及び外観点検等を実施した結果、異常はなかったことから、弁本体に要因となる不良はなかった。また、B 弁の点検結果と比較しても同様な状況であり、問題なかった。

(3) 駆動部について

駆動部の分解点検、漏えい確認等を実施した結果、異常はなかったことから、駆動部に要因となる不良はなかった。また、B 弁の点検結果と比較しても同様な状況であり、問題なかった。

(4) 配管系統圧力と弁開放力について

当該弁は、ポンプ停止中の弁開放力が系統設計上想定される背圧を上回る設計となっていなかったこと、また、ポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が A ～ C 弁と逆止弁の間に閉じ込められた状態にあったと考えられることから、今回の A、C 弁の一時的な動作不具合の要因は、背圧と弁開放力の関係によることが考えられる。

(5) 配管破損事故との関係

上記(1)～(3)の点検調査において機械的な動作不良等の異常はなく、また、水滴跡等も認められなかったことから、配管破損事故による蒸気や熱水等による影響はなかったと考えられる。

8 . 確認試験

(添付 - 21)

今回の A、C 弁の一時的な動作不具合の要因として、背圧が弁の開動作に影響を及ぼしていた可能性があることから、背圧の大きさと弁の開動作の関係を調べるために、分解していた弁を再度組立てて、C 弁を代表に実機を用いて確認試験を実施した。

なお、比較のために、開動作した B 弁についても同様の試験を実施した。

(1) 弁動作確認試験結果

試験系統に加える背圧を、ポンプ停止中の弁開放力前後の各圧力で一定に保ち、各々の背圧において弁が開動作するか否かを試験した結果、C、B 弁の両弁ともに背圧が弁開放力を上回る状態では開動作せず、背圧が弁開放力の近く若しくは下回る状態では開動作することを確認した。

(2) 試験系統の圧力保持状況確認結果

試験系統の準備段階（試験前日）において、構成された試験系統に所定の背圧を加えて、その圧力が保持できるか否かの確認を実施したところ、B 弁の試験系統では、C 弁の試験系統に比べて約 3 倍の圧力降下があることを確認した。

(3) 考 察

確認試験の結果から、背圧と弁開放力の関係を明確にすることができた。

また、試験系統の圧力保持状況において確認された圧力降下は、弁シートリークが原因と考えられる。その後、有意な圧力降下はない状態となったが、これはシート面の状態が改善されたためと考えられる。

なお、B 弁については、当初からシートリークが発生していた可能性が考えられる。

9 . 推定原因

(添付 - 22、23)

事故当時に A、C 弁が開動作しなかったのは、背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回っていたためであり、その翌日に弁が正常に開動作したのは、1 次冷却材系統の冷却操作による主蒸気圧力の低下に伴い、背圧がポンプ停止中の弁開放力を下回ったためと推定される。また、ポンプ停止中の弁開放力が事故当日の背圧と比較して小さかったのは、当該弁の設計条件に背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回るような系統状態を想定していなかったためと推定される。

なお、B 弁については、弁のシートリークによりポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が閉じ込められなかったため、正常に開動作したものと推定される。

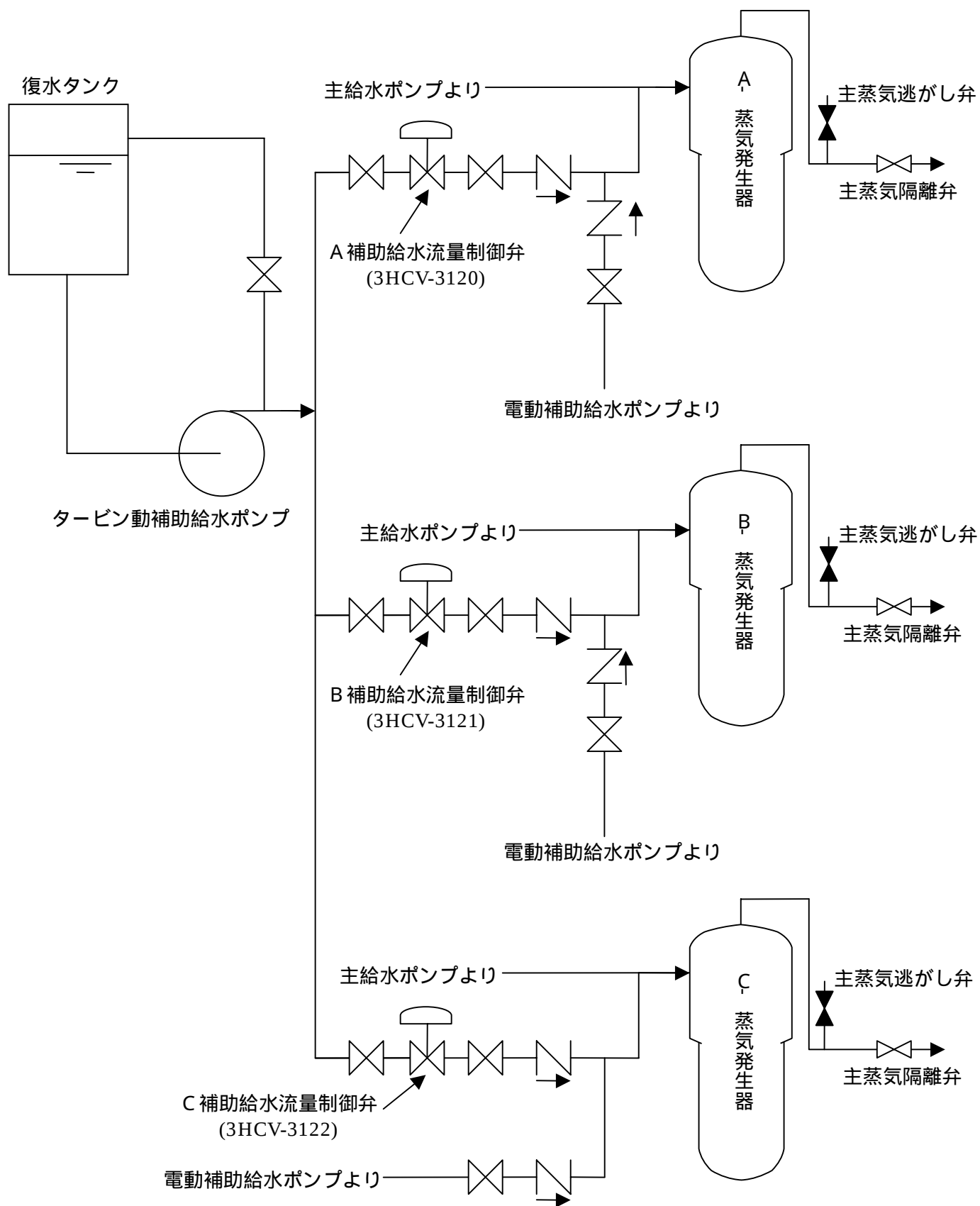
10 . 対 策

当該弁について、設計上想定される最大背圧よりも大きな弁開放力を持たせるために、弁駆動用バネをバネ定数の大きなものに取り替える。

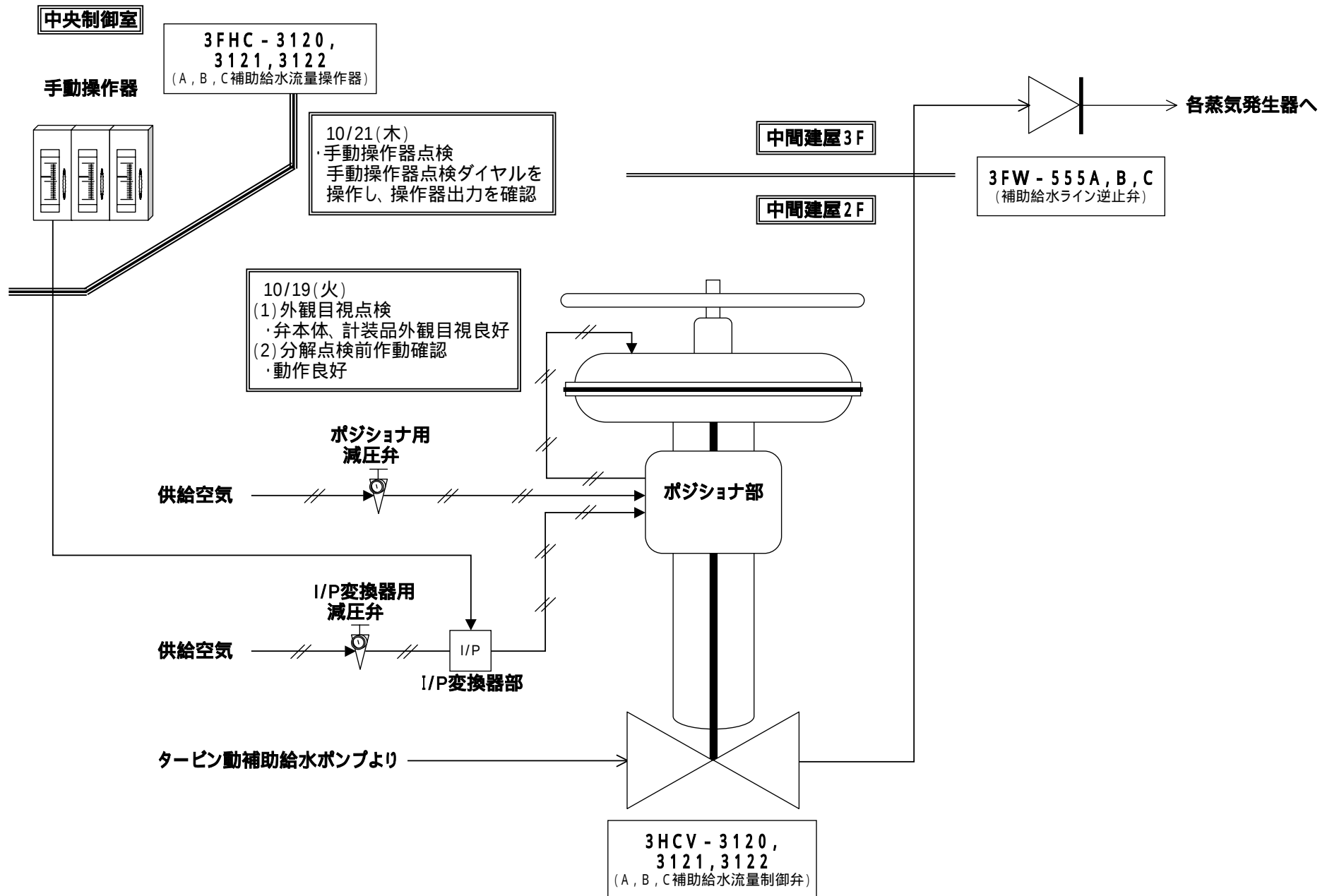
添付 - 1 : タービン動補助給水系統概要図

- 2 : 補助給水流量制御弁構成図
- 3 : A、C 補助給水流量制御弁動作不良要因分析図
- 4 : 補助給水流量制御弁点検箇所図
- 5 : 手動操作器動作確認結果
- 6 : 模擬信号入力による弁動作確認結果
- 7 : 減圧弁設定値確認結果
- 8 : 外観点検結果
- 9 : 弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果
- 10 : 補助給水流量制御弁分解点検結果
- 11 : 弁駆動部分解点検結果
- 12 : 補助給水ライン逆止弁分解点検結果
- 13 : 補助給水流量制御弁駆動部バネ定数計測結果
- 14 : A ~ C 弁の弁棒、弁体（プラグ）、弁座（ケージ）の寸法測定結果
- 15 : 補助給水流量制御弁の設計について
- 16 : 補助給水流量制御弁の事故時動作不調時の時系列挙動
- 17 : タービン動補助給水系統他圧力変動状況と系統状態
- 18 : 美浜 3 号機補助給水系統スケルトン図
- 19 : 補助給水流量制御弁と逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力の評価
- 20 : 補助給水流量制御弁の弁開放力と開放抑止力との比較
- 21 : 確認試験結果
- 22 : 推定メカニズム
- 23 : B 弁開動作の検討

タービン動補助給水系統概要図



補助給水流量制御弁構成図



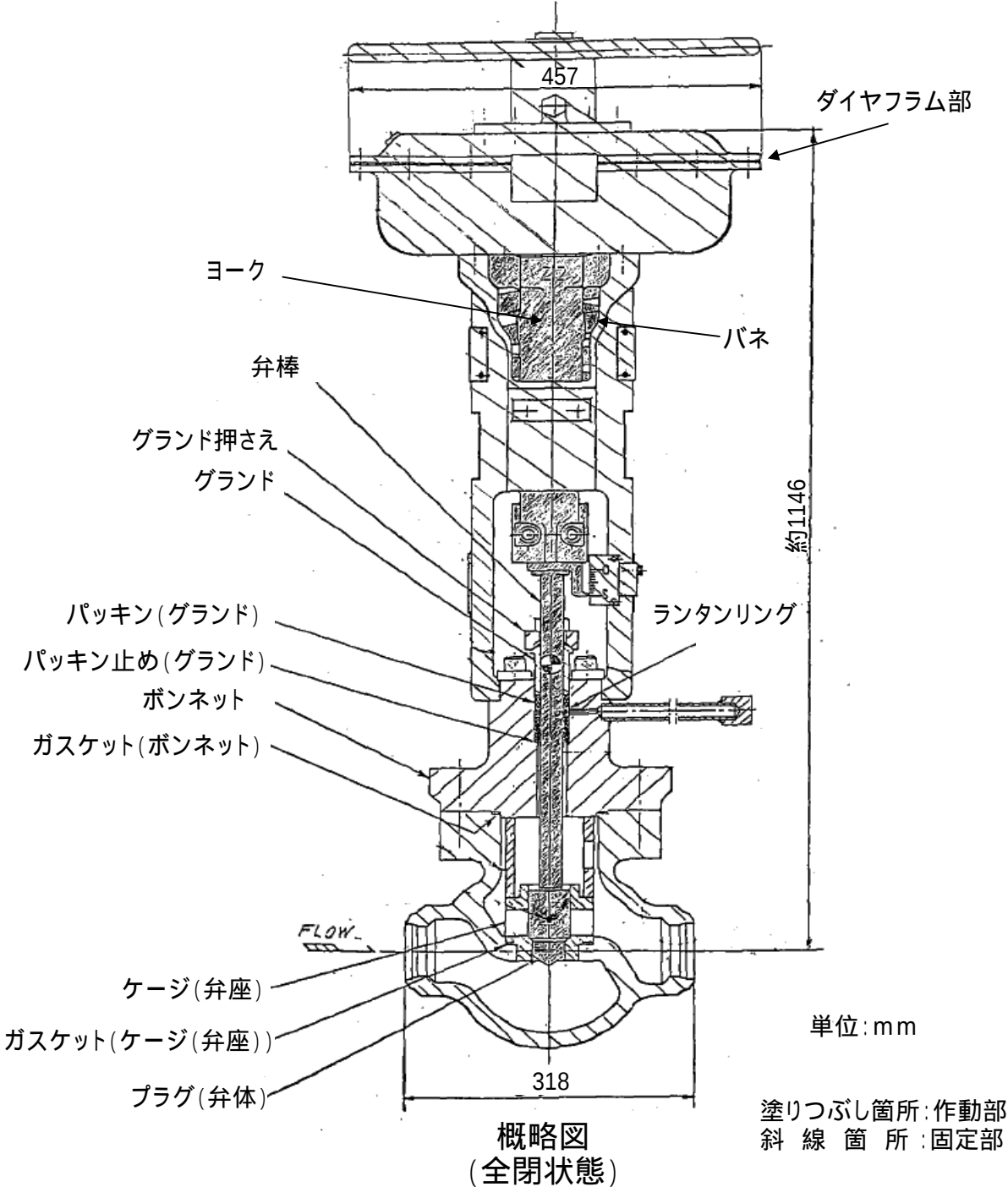
A、C 補助給水流量制御弁動作不良要因分析図

凡例 × :問題なし、○ :問題あり

			調査項目・及び判定基準	A, C弁の結果	判定	参考(B弁の結果)	
補助給水流量 制御弁動作不良 (開放しない)	制御系不良	手動操作器	特性不良	手動操作にて操作器の出力信号を変化させ、その時のI/P変換器の入力(電圧)を確認 ・手動操作に対して入力(電圧:100～500mV)が健全であることを確認する。 (判定基準:標準値±2mV)	・入力(電圧:100～500mV)が健全であることを確認した。 (B弁と同様の結果であった)	×	・入力(電圧:100～500mV)が健全であることを確認した。
			I/P変換器部	特性不良	模擬信号入力にて弁開閉を行い、弁の動作を確認するとともにI/P変換器の出力(圧力)を確認 ・弁の開閉動作が正常であること、また、模擬信号入力に対して出力(圧力:20.0～100.0kPa)が健全であることを確認する。(判定基準:標準値±0.8kPa)	・弁がひっかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力(圧力:20.0～100.0kPa)が健全であることを確認した。(B弁と同様の結果であった)	×
		減圧弁	I/P変換器用減圧弁不良	減圧弁の健全性を確認 ・減圧弁の圧力設定を確認する。(設定圧力:0.140MPa 判定基準:0.100MPa以上)	・付属圧力計にて測定結果異常なし(A:0.140MPa, C:0.142MPa) (B弁と同様の結果であった)	×	・付属圧力計にて測定結果異常なし(0.140MPa)
				ボジショナ用減圧弁不良	減圧弁の健全性を確認 ・減圧弁の圧力設定を確認する。(設定圧力:0.45MPa 判定基準:0.44MPa以上)	・付属圧力計にて測定結果異常なし(A:0.45MPa, C:0.45MPa) (B弁と同様の結果であった)	×
			ボジショナ部	空気の流れ	弁駆動用および制御用空気の流れの確認 ・石炭水により弁駆動用および制御用空気の流れの有無を確認する。	・流れなし	×
		特性不良		模擬信号入力にて弁開閉を行い、弁の動作を確認するとともにボジショナの出力(ダイヤフラム圧力)を確認 ・弁の開閉動作が正常であること、また、模擬信号入力に対して出力(圧力:0～0.44MPa)を確認する。	・弁がひっかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力(圧力:0～0.44MPa)を確認した。(B弁と同様の結果であった)	×	・弁がひっかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力(圧力:0～0.44MPa)を確認した。
		空気の流れ	弁駆動用および制御用空気の流れの確認 ・石炭水により弁駆動用および制御用空気の流れの有無を確認する。	・流れなし	×	・駆動用空気系でカニ泡程度の極く微量な流れが認められたが、動作機能に影響があるものではなかった。	
			弁本体不良	グランド押さえグランド	片締め	片絞め確認 ・グランド押さえボルトの寸法を測定し確認する。	・異常なし(B弁と同様の結果であった)
	締め過ぎ	締め付け確認 ・過剰な締め付けでないことを確認する。 (初期締付トルク基準値:11～15N・m)			・異常なし(A:4.0/0.5N・m, C:5.0/5.0N・m) (B弁と同様の結果であった)	×	・異常なし(10.0/7.0N・m)
	バックシム(グランド)	摺動抵抗増加		外観目視確認 ・バックシム(グランド)に含まれる金属成分が内面に露出していないことを確認する。	・金属成分の露出なし (B弁と同様の結果であった)	×	・金属成分の露出なし
	ランタンリング	焼きつき		外観目視確認 ・分解時、ランタンリングに焼きつきがないことを確認する。	・ランタンリングに焼き付きなし (B弁と同様の結果であった)	×	・ランタンリングに焼き付きなし
		変形		外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし (B弁と同様の結果であった)	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし
	バックシム止め(グランド)	変形		外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし (B弁と同様の結果であった)	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし
	弁棒	曲がり		偏心確認 ・分解時、弁棒に曲がりがないことを、偏心測定により確認する。(許容値:10/100mm以下)	・異常なし(A: 4/100mm 1/100mm) プラグ (C: 1/100mm 1/100mm) 弁棒 (B弁と同様の結果であった)	×	・異常なし (2/100mm 1/100mm)
		焼き付き	外観目視確認 ・分解時、摺動部に焼き付き跡がないことを確認する。	・摺動部に焼き付き跡なし (B弁と同様の結果であった)	×	・摺動部に焼き付き跡なし	
傷・バリの発生		外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある傷・バリがないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある傷・バリなし (B弁と同様の結果であった)	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある傷・バリなし		
腐食		外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし (B弁と同様の結果であった)	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし		
弁棒・ヨークの連結不良		外観目視確認 ・分解時、連結部に緩み、がたつきがないことを確認する。	・連結部に緩み、がたつきなし (B弁と同様の結果であった)	×	・連結部に緩み、がたつきなし		
食い込み		外観目視確認 ・分解時、ボンネットガスケット及び、ケーシ(弁座)ガスケットに食い込みによる偏りがないことを確認する。	・ボンネットガスケット及び、ケーシ(弁座)ガスケットに食い込みによる偏りなし(B弁と同様の結果であった)	×	・ボンネットガスケット及び、ケーシ(弁座)ガスケットに食い込みによる偏りなし		
プラグ(弁体)ケーシ(弁座)	弁体噛み込み	外観目視確認 ・分解時、プラグ(弁体)とケーシ(弁座)に噛み込み傷がないことを確認する。 クリアランスが許容範囲(12.0/100～21.0/100mm)以内であること。	・プラグ(弁体)とケーシ(弁座)に噛み込み傷なし クリアランス A:13.0/100mm, C:12.5/100mm (B弁と同様の結果であった)	×	・プラグ(弁体)とケーシ(弁座)に噛み込み傷なし クリアランス 13.5～14.0/100mm		
	異物噛み込み	外観目視確認 ・分解時、プラグ(弁体)とケーシ(弁座)に異物がないことを確認する。	・プラグ(弁体)とケーシ(弁座)に異物なし (弁シート面には、肌荒れやビット状のくぼみはなかった)	×	・プラグ(弁体)とケーシ(弁座)に異物なし (なお、弁シート面に肌荒れやビット状のくぼみが確認された)		
	腐食	外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし (B弁と同様の結果であった)	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし		
	弁駆動部不良	駆動用バネ	バネ噛み込み	外観目視確認 ・弁開閉動作にて、健全性(異音、振動のないこと)を確認する。 ・分解を行いバネの噛み込みがないことを確認する。	・異音、振動なし ・バネの噛み込みなし (B弁と同様の結果であった)	×	・異音、振動なし ・バネの噛み込みなし
バネ曲り、変形			外観目視確認 ・弁開閉動作にて、健全性(異音、振動のないこと)を確認する。 ・分解を行いバネが駆動部内面に接触していないことを確認する。	・異音、振動なし ・バネと駆動部内面の接触なし (B弁と同様の結果であった)	×	・異音、振動なし ・バネと駆動部内面の接触なし	
ヨーク・ボンネット		噛み込み・擦れ	現地弁動作状況 ・弁開閉動作にて、健全性(異音、振動のないこと)を確認する。 ・分解を行いヨークがフレームに接触していないことを確認する。	・異音、振動なし ・ヨークとフレームの接触なし (B弁と同様の結果であった)	×	・異音、振動なし ・ヨークとフレームの接触なし	
		変形・曲がり	外観目視確認 ・各目視にて確認し、変形・ひずみがないことを確認する。	・変形・ひずみなし(B弁と同様の結果であった)	×	・変形・ひずみなし	
ダイヤフラム部		噛み込み焼き付き	外観目視確認 ・弁開閉動作にて、健全性(異音、振動のないこと)を確認する。 ・異物の噛み込みや焼き付きがないことを確認する。	・異音、振動なし ・異物の噛み込みや焼き付きなし (B弁と同様の結果であった)	×	・異音、振動なし ・異物の噛み込みや焼き付きなし	
		空気の流れ	弁駆動用空気の流れの確認 ・石炭水により弁駆動用空気の流れの有無を確認する。	・流れなし	×	・カニ泡程度の極く微量な流れが認められたが、動作機能に影響があるものではなかった。	
制御系(手動操作器除く)、弁本体、弁駆動部の不良	～	水分の付着衝撃による変形	外観目視確認 ・水分の付着または付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。 ・弁開閉動作時、水分の付着及び衝撃による変形が要因となる動作不良がないことを確認する。	・水分の付着または付着した痕跡、衝撃による変形なし 開閉動作良好 (B弁と同様の結果であった)	×	・水分の付着または付着した痕跡、衝撃による変形なし 開閉動作良好	
		配管システムの不良	逆止弁	動作不良	外観目視確認 ・分解時、逆止弁の弁体がスムーズに動作することを確認する。	・動作良好 (B弁と同様の結果であった)	×
	シート不良			外観目視確認 ・分解時、逆止弁のシート当たりが得られていることを確認する。	・異常なし (B弁と同様の結果であった)	×	・異常なし
系統圧力	事故時の圧力変動	パラメータ確認 ・事故時のパラメータにより補助給水系統に異常な圧力変動がないことを確認する。	・異常な圧力変動はなかったが、弁出口側に開放力を上回る系統圧力が加わっていた可能性が考えられる。	○			

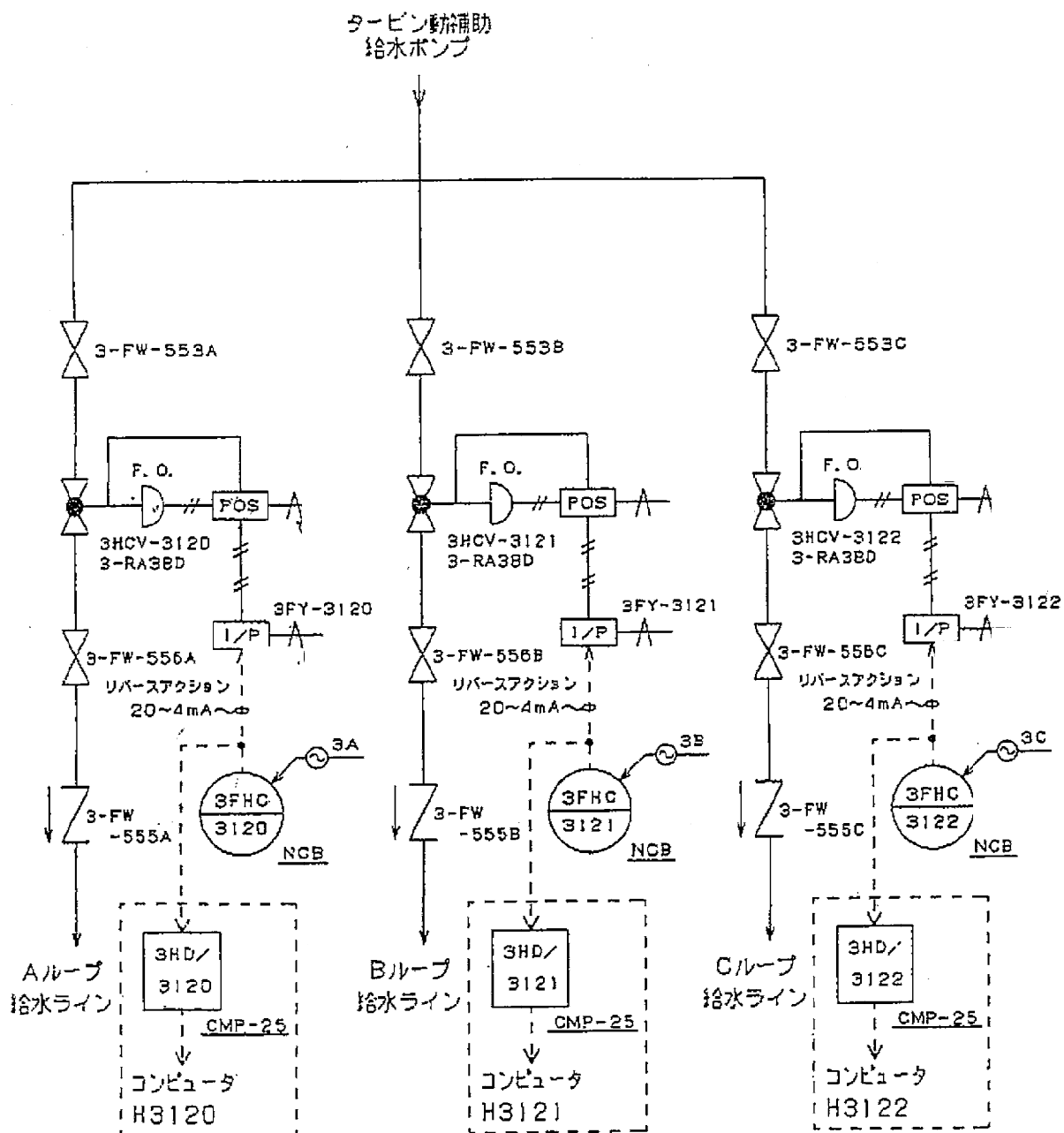
補助給水流量制御弁点検箇所図

3HCV - 3120 A補助給水流量制御弁
3HCV - 3122 C補助給水流量制御弁



	主要部位の材質		
	HCV - 3120	HCV - 3122	HCV - 3121(参考)
プラグ(弁体)	SUS440C	A276, 440C	SUS440C
ケージ(弁座)	SUS420J2	SUS420J2	SUS420J2
弁棒	SUS630	A276, 440C	SUS630
ボディー	A217, WC - 6	A217, WC - 6	A217, WC - 6

補助給水流量制御弁点検箇所図



3Aグループ補助給水流量制御
3Bグループ補助給水流量制御
3Cグループ補助給水流量制御

手動操作器動作確認結果

(1)手動操作器作動確認

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果																																													
3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量制御弁 用 手動操作器	手動操作器のダイヤルを操作し、操作器の出力信号を 0 ～ 100%までステップ状に変化させ、上げ下げの 6 点、 合計 12 点について出力を記録する。	異常なし																																													
	(判定基準) 標準値 ± 2mV																																														
	点検データ (最大誤差 +1.5mV , -1.6mV)																																														
	<table><tr><th rowspan="2">ポイント</th><th colspan="2">標準出力</th><th>標準値</th><th>UP</th><th>DOWN</th></tr><tr><th>(mA)</th><th>目盛</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th></tr><tr><td>1</td><td>4.00</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>100.1</td></tr><tr><td>2</td><td>7.20</td><td>80.0</td><td>180.0</td><td>179.2</td><td>179.3</td></tr><tr><td>3</td><td>10.40</td><td>60.0</td><td>260.0</td><td>258.4</td><td>259.8</td></tr><tr><td>4</td><td>13.60</td><td>40.0</td><td>340.0</td><td>339.7</td><td>340.2</td></tr><tr><td>5</td><td>16.80</td><td>20.0</td><td>420.0</td><td>421.5</td><td>421.5</td></tr><tr><td>6</td><td>20.00</td><td>0.0</td><td>500.0</td><td>500.3</td><td>499.9</td></tr></table>		ポイント	標準出力		標準値	UP	DOWN	(mA)	目盛	(mV)	(mV)	(mV)	1	4.00	100.0	100.0	100.0	100.1	2	7.20	80.0	180.0	179.2	179.3	3	10.40	60.0	260.0	258.4	259.8	4	13.60	40.0	340.0	339.7	340.2	5	16.80	20.0	420.0	421.5	421.5	6	20.00	0.0	500.0
ポイント	標準出力			標準値	UP	DOWN																																									
	(mA)	目盛	(mV)	(mV)	(mV)																																										
1	4.00	100.0	100.0	100.0	100.1																																										
2	7.20	80.0	180.0	179.2	179.3																																										
3	10.40	60.0	260.0	258.4	259.8																																										
4	13.60	40.0	340.0	339.7	340.2																																										
5	16.80	20.0	420.0	421.5	421.5																																										
6	20.00	0.0	500.0	500.3	499.9																																										
3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量制御弁 用 手動操作器	手動操作器のダイヤルを操作し、操作器の出力信号を 0 ～ 100%までステップ状に変化させ、上げ下げの 6 点、 合計 12 点について出力を記録する。	異常なし																																													
	(判定基準) 標準値 ± 2mV																																														
	点検データ (最大誤差 +1.5mV , -1.5mV)																																														
	<table><tr><th rowspan="2">ポイント</th><th colspan="2">標準出力</th><th>標準値</th><th>UP</th><th>DOWN</th></tr><tr><th>(mA)</th><th>目盛</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th></tr><tr><td>1</td><td>4.00</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>99.6</td><td>99.2</td></tr><tr><td>2</td><td>7.20</td><td>80.0</td><td>180.0</td><td>178.6</td><td>179.6</td></tr><tr><td>3</td><td>10.40</td><td>60.0</td><td>260.0</td><td>258.5</td><td>259.8</td></tr><tr><td>4</td><td>13.60</td><td>40.0</td><td>340.0</td><td>340.3</td><td>340.0</td></tr><tr><td>5</td><td>16.80</td><td>20.0</td><td>420.0</td><td>421.2</td><td>421.5</td></tr><tr><td>6</td><td>20.00</td><td>0.0</td><td>500.0</td><td>500.8</td><td>500.7</td></tr></table>		ポイント	標準出力		標準値	UP	DOWN	(mA)	目盛	(mV)	(mV)	(mV)	1	4.00	100.0	100.0	99.6	99.2	2	7.20	80.0	180.0	178.6	179.6	3	10.40	60.0	260.0	258.5	259.8	4	13.60	40.0	340.0	340.3	340.0	5	16.80	20.0	420.0	421.2	421.5	6	20.00	0.0	500.0
ポイント	標準出力			標準値	UP	DOWN																																									
	(mA)	目盛	(mV)	(mV)	(mV)																																										
1	4.00	100.0	100.0	99.6	99.2																																										
2	7.20	80.0	180.0	178.6	179.6																																										
3	10.40	60.0	260.0	258.5	259.8																																										
4	13.60	40.0	340.0	340.3	340.0																																										
5	16.80	20.0	420.0	421.2	421.5																																										
6	20.00	0.0	500.0	500.8	500.7																																										

手動操作器動作確認結果

(2)手動操作器操作による弁作動確認

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準				結 果	
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量 制御弁	手動操作器により開閉操作を実施し、弁の全開・全閉動作が正常であることを確認する。				異常なし	
	操作器出力	弁開度		判定基準		
		標準値	指示値			
	全閉 ↓ 全開 ↓ 全閉	全閉 ↓ 全開 ↓ 全閉	全閉	ひっかかり等がなくスムーズに作動すること		
			全開			
			全閉			
	手動操作器のダイヤルを操作し、操作器の出力信号を 0 ~ 100%までステップ状に変化させ、上げ下げの 6 点、合計 12 点について出力を記録する。				異常なし	
	(判定基準) 標準値 ± 2 m V					
	点検データ (最大誤差 +1.5mV , -0.6mV)					
	ポイント	標準出力		標準値		UP
	(mA)	目盛	(mV)	(mV)		(mV)
1	4.00	100.0	100.0	99.8	99.4	
2	7.20	80.0	180.0	179.9	180.0	
3	10.40	60.0	260.0	259.6	260.2	
4	13.60	40.0	340.0	339.5	340.6	
5	16.80	20.0	420.0	421.2	421.5	
6	20.00	0.0	500.0	500.8	501.3	

模擬信号入力による弁動作確認結果

1 . A , C 弁動作確認

(1) 模擬入力信号 (現地) による弁動作確認

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果
3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量制御弁	基準入力を 0 ~ 100 % までランプ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。	異常なし
	(判定基準) ・ ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ ポジショナ出力が 0 ~ 0.44 M P a まで変化すること	
3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量制御弁	基準入力を 0 ~ 100 % までランプ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。	異常なし
	(判定基準) ・ ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ ポジショナ出力が 0 ~ 0.44 M P a まで変化すること	

模擬信号入力による弁動作確認結果

(2) I / P 変換器単体動作確認

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果																																						
3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量制御弁 用 I / P 変換器	基準入力を 0～100%までステップ状に変化させ、上げ 下げの 5 点、合計 10 点について出力を記録する。	異常なし																																						
	(判定基準) 標準値 ± 0.80 k P a 以下であること																																							
	点検データ (最大誤差 +0.47kPa , -0.56kPa) <table><tr><th colspan="2">基準入力</th><th colspan="3">I / P 変換器出力</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th>標準</th><th>上げ</th><th>下げ</th></tr><tr><th>%</th><th>m A</th><th>k P a</th><th>k P a</th><th>k P a</th></tr><tr><td>0</td><td>4</td><td>20.0</td><td>20.47</td><td>20.47</td></tr><tr><td>25</td><td>8</td><td>40.0</td><td>39.96</td><td>40.27</td></tr><tr><td>50</td><td>12</td><td>60.0</td><td>59.73</td><td>60.07</td></tr><tr><td>75</td><td>16</td><td>80.0</td><td>79.60</td><td>79.86</td></tr><tr><td>100</td><td>20</td><td>100.0</td><td>99.44</td><td>99.54</td></tr></table>		基準入力		I / P 変換器出力					標準	上げ	下げ	%	m A	k P a	k P a	k P a	0	4	20.0	20.47	20.47	25	8	40.0	39.96	40.27	50	12	60.0	59.73	60.07	75	16	80.0	79.60	79.86	100	20	100.0
基準入力		I / P 変換器出力																																						
		標準	上げ	下げ																																				
%	m A	k P a	k P a	k P a																																				
0	4	20.0	20.47	20.47																																				
25	8	40.0	39.96	40.27																																				
50	12	60.0	59.73	60.07																																				
75	16	80.0	79.60	79.86																																				
100	20	100.0	99.44	99.54																																				
3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量制御弁 用 I / P 変換器	基準入力を 0～100%までステップ状に変化させ、上げ 下げの 5 点、合計 10 点について出力を記録する。	異常なし																																						
	(判定基準) 標準値 ± 0.80 k P a 以下であること																																							
	点検データ (最大誤差 +0.29kPa , -0.07kPa) <table><tr><th colspan="2">基準入力</th><th colspan="3">I / P 変換器出力</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th>標準</th><th>上げ</th><th>下げ</th></tr><tr><th>%</th><th>m A</th><th>k P a</th><th>k P a</th><th>k P a</th></tr><tr><td>0</td><td>4</td><td>20.0</td><td>20.16</td><td>20.29</td></tr><tr><td>25</td><td>8</td><td>40.0</td><td>39.95</td><td>40.21</td></tr><tr><td>50</td><td>12</td><td>60.0</td><td>59.93</td><td>60.17</td></tr><tr><td>75</td><td>16</td><td>80.0</td><td>79.95</td><td>80.14</td></tr><tr><td>100</td><td>20</td><td>100.0</td><td>99.99</td><td>100.02</td></tr></table>		基準入力		I / P 変換器出力					標準	上げ	下げ	%	m A	k P a	k P a	k P a	0	4	20.0	20.16	20.29	25	8	40.0	39.95	40.21	50	12	60.0	59.93	60.17	75	16	80.0	79.95	80.14	100	20	100.0
基準入力		I / P 変換器出力																																						
		標準	上げ	下げ																																				
%	m A	k P a	k P a	k P a																																				
0	4	20.0	20.16	20.29																																				
25	8	40.0	39.95	40.21																																				
50	12	60.0	59.93	60.17																																				
75	16	80.0	79.95	80.14																																				
100	20	100.0	99.99	100.02																																				

模擬信号入力による弁動作確認結果

2 . B 弁動作確認

(1) 模擬入力信号 (現地) による弁動作確認

a . ランプ応答試験

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量 制御弁	基準入力を 0 ~ 100 % までランプ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。	異常なし
	(判定基準) ・ ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ ポジショナ出力が 0 ~ 0.44 M P a まで変化すること	

b . 2 5 % ステップ応答試験

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量 制御弁	基準入力を 0 ~ 100 % の範囲で 25 % ステップ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。	異常なし
	(判定基準) ・ ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ ポジショナ出力が 0 ~ 0.44 M P a まで変化すること	

(2) I / P 変換器単体動作確認

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果																																				
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量制御弁 用 I / P 変換器	基準入力を 0～100%までステップ状に変化させ、上げ下げの 5 点、合計 10 点について出力を記録する。	異常なし																																				
	(判定基準) 標準値±0.80 k P a 以下であること																																					
	点検データ (最大誤差 +0.31kPa , -0.03kPa)																																					
	<table><tr><th colspan="2" rowspan="2">基準入力</th><th colspan="3">I / P 変換器出力</th></tr><tr><th>標準</th><th>上げ</th><th>下げ</th></tr><tr><th>%</th><th>m A</th><th>k P a</th><th>k P a</th><th>k P a</th></tr><tr><td>0</td><td>4</td><td>20.0</td><td>20.16</td><td>20.31</td></tr><tr><td>25</td><td>8</td><td>40.0</td><td>39.97</td><td>40.20</td></tr><tr><td>50</td><td>12</td><td>60.0</td><td>59.99</td><td>60.20</td></tr><tr><td>75</td><td>16</td><td>80.0</td><td>80.05</td><td>80.25</td></tr><tr><td>100</td><td>20</td><td>100.0</td><td>100.06</td><td>100.09</td></tr></table>		基準入力		I / P 変換器出力			標準	上げ	下げ	%	m A	k P a	k P a	k P a	0	4	20.0	20.16	20.31	25	8	40.0	39.97	40.20	50	12	60.0	59.99	60.20	75	16	80.0	80.05	80.25	100	20	100.0
基準入力		I / P 変換器出力																																				
		標準	上げ	下げ																																		
%	m A	k P a	k P a	k P a																																		
0	4	20.0	20.16	20.31																																		
25	8	40.0	39.97	40.20																																		
50	12	60.0	59.99	60.20																																		
75	16	80.0	80.05	80.25																																		
100	20	100.0	100.06	100.09																																		

減圧弁設定値確認結果

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果
3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量制御弁 用 減圧弁	I / P 変換器用 設定値 0.140 M P a (0.100 M P a 以上) <u>付属圧力計による読取値 0.140 (M P a)</u>	異常なし
	ポジショナー用 設定値 0.45 M P a (0.44 M P a 以上) <u>付属圧力計による読取値 0.45 (M P a)</u>	
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量制御弁 用 減圧弁	I / P 変換器用 設定値 0.140 M P a (0.100 M P a 以上) <u>付属圧力計による読取値 0.140 (M P a)</u>	異常なし
	ポジショナー用 設定値 0.45 M P a (0.44 M P a 以上) <u>付属圧力計による読取値 0.45 (M P a)</u>	
3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量制御弁 用 減圧弁	I / P 変換器用 設定値 0.140 M P a (0.100 M P a 以上) <u>付属圧力計による読取値 0.142 (M P a)</u>	異常なし
	ポジショナー用 設定値 0.45 M P a (0.44 M P a 以上) <u>付属圧力計による読取値 0.45 (M P a)</u>	

外観点検結果

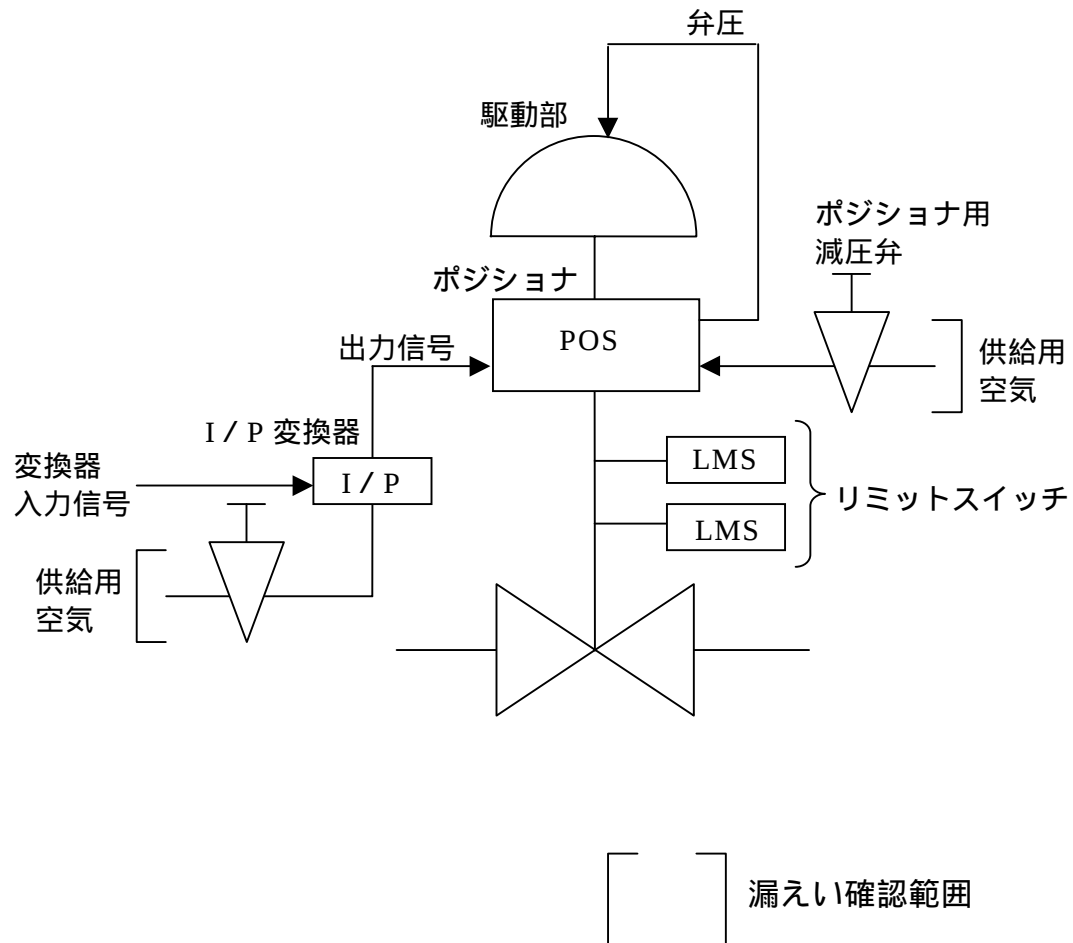
点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果
3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量 制御弁	水分の付着又は付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。	
	・ 電空変換器	異常なし
	・ 減圧弁	異常なし
	・ ポジショナ	異常なし
	・ 弁駆動部	異常なし
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量 制御弁	水分の付着又は付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。	
	・ 電空変換器	異常なし
	・ 減圧弁	異常なし
	・ ポジショナ	異常なし
	・ 弁駆動部	異常なし
3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量 制御弁	水分の付着又は付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。	
	・ 電空変換器	異常なし
	・ 減圧弁	異常なし
	・ ポジショナ	異常なし
	・ 弁駆動部	異常なし

弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果

点検対象機器	点 検 内 容 及 び 判 定 基 準	結 果
3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量 制御弁	・ 弁駆動部、ポジショナ他制御系機器及びそれらを接続する計装配管継手部等に石鹼水をかけ漏えいのないことを確認する。	異常なし
3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量 制御弁	・ 弁駆動部、ポジショナ他制御系機器及びそれらを接続する計装配管継手部等に石鹼水をかけ漏えいのないことを確認する。	駆動空気系でカニ泡程度の極微量な漏えいが認められたが、動作機能に影響があるものではなかった。
3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量 制御弁	・ 弁駆動部、ポジショナ他制御系機器及びそれらを接続する計装配管継手部等に石鹼水をかけ漏えいのないことを確認する。	異常なし

弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果

B 弁駆動部上部の手動ハンドル付け根部付近で極く僅かな漏えいを確認



B 弁ポジショナ供給空気配管継ぎ手部（ブロック部）で極く僅かな漏えいを確認



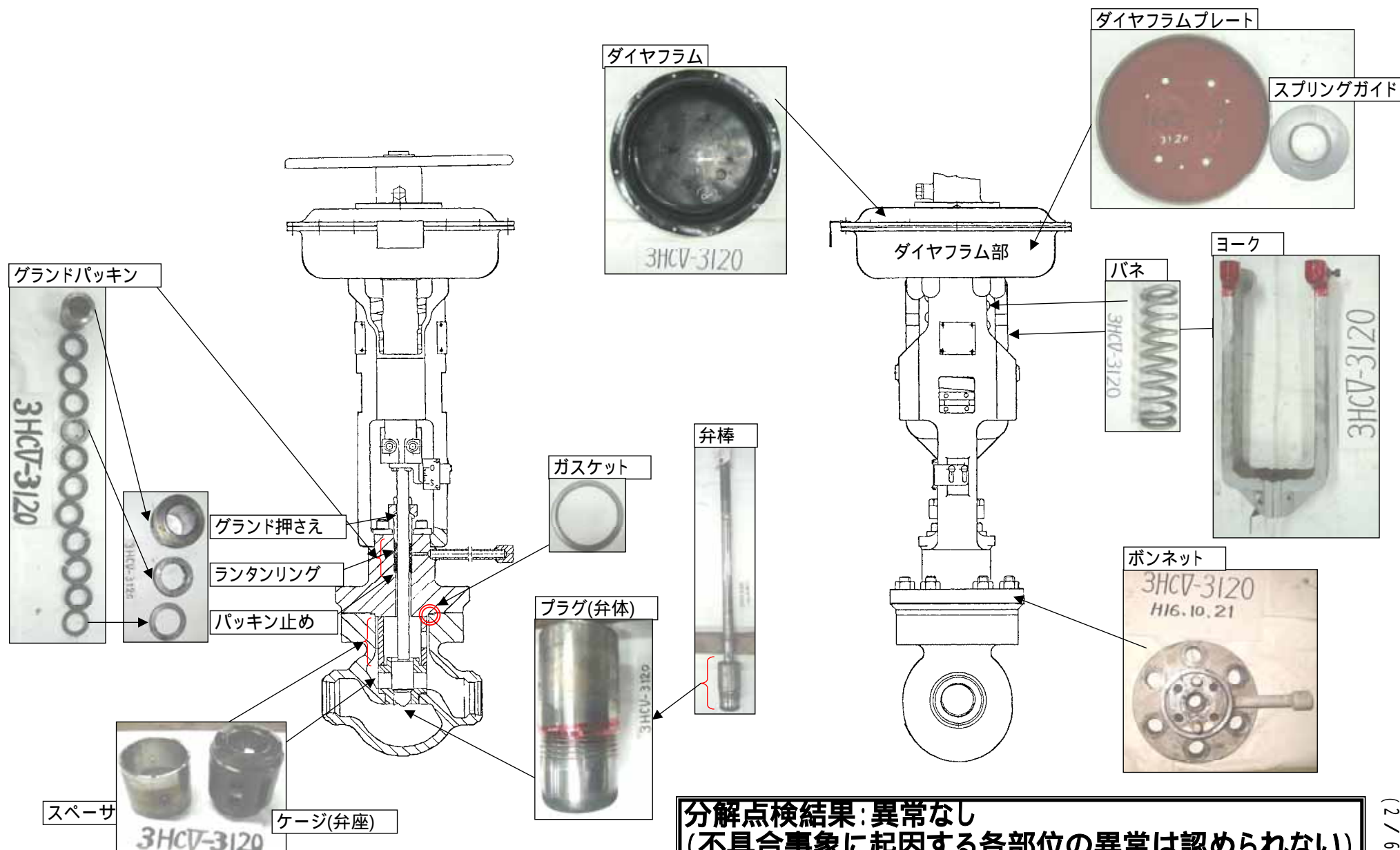
補助給水流量制御弁分解点検結果

1. 弁本体分解点検

3HCV - 3120 A 補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結 果	備 考
グランド押さえ	片締め	異常なし	
	締め過ぎ	測定値：4.0/0.5 N・m ・グランド緩めており参考値	初期締付けトルク基準値 11.0～15.0N・m
パッキン (グランド)	摺動抵抗増加	異常なし	
ランタンリング	焼きつき	異常なし	
	変形	異常なし	
パッキン止め (グランド)	変形	異常なし	
弁棒	曲がり	異常なし 測定値 プラグ： 4/100 mm 弁 棒： 1/100 mm	許容値 10/100mm 以下
	焼きつき	異常なし	
	傷・バリの発生	異常なし	
	腐食	異常なし	
	弁棒・ヨークの連結 不良	異常なし	
ガスケット	食い込み	異常なし	
プラグ(弁体) ケーシ(弁座)	弁体噛み込み	異常なし 測定値： 13.0/100 mm	許容範囲(クリアランス) 12.0/100 ～21.0/100mm 以内
	異物噛み込み	異常なし	
	腐食	異常なし	

A補助給水流量制御弁分解点検結果 (3HCV-3120)



**分解点検結果:異常なし
(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)**

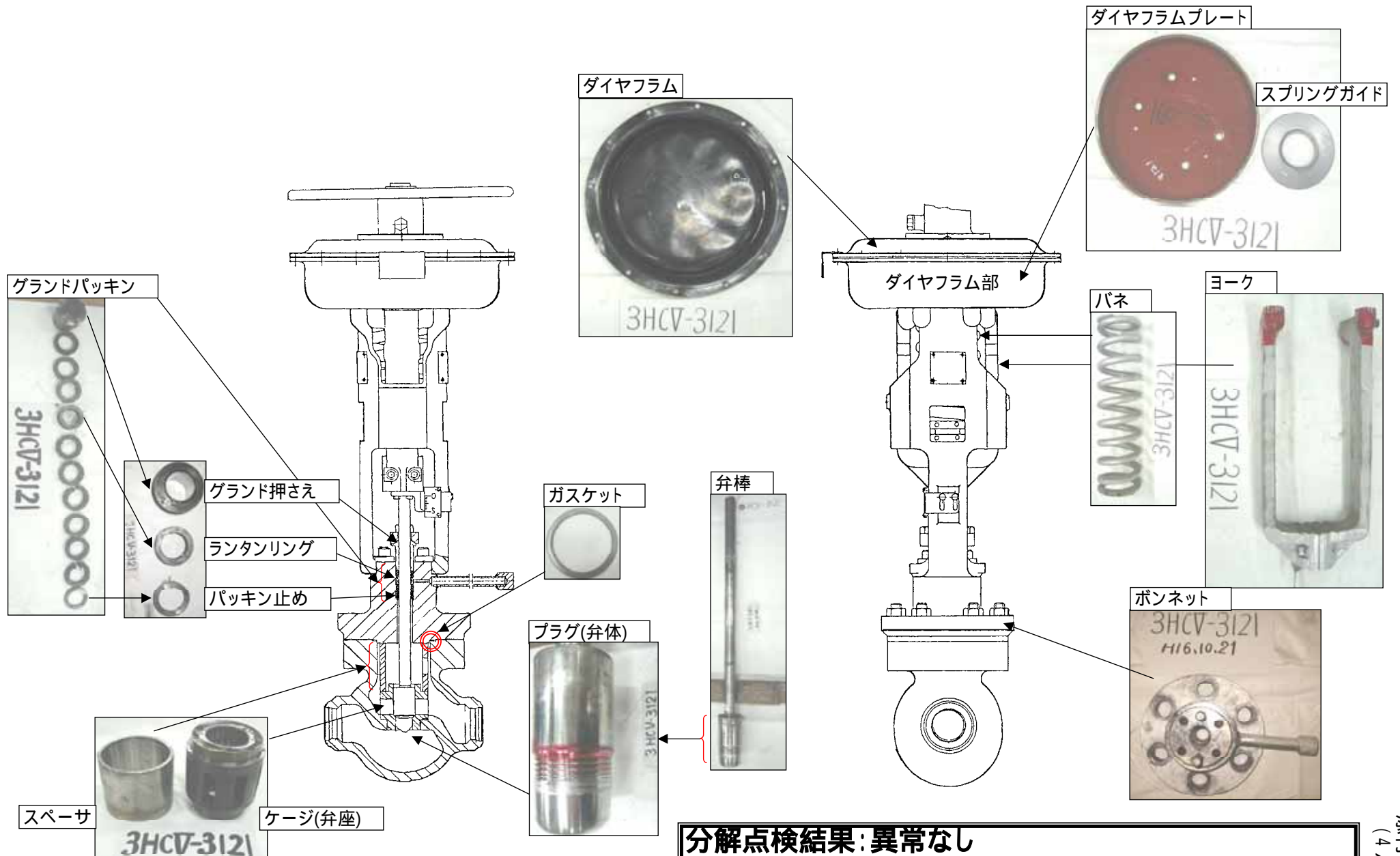
補助給水流量制御弁分解点検結果

2 . 弁本体分解点検

3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結 果	備 考
グランド押さえ	片締め	異常なし	
	締め過ぎ	異常なし 測定値：10.0/7.0 N・m	初期締付けトルク基準値 11.0～15.0N・m
パッキン (グランド)	摺動抵抗増加	異常なし	
ランタンリング	焼きつき	異常なし	
	変形	異常なし	
パッキン止め (グランド)	変形	異常なし	
弁棒	曲がり	異常なし 測定値 プラグ：2/100 mm 弁 棒：1/100 mm	許容値 10/100mm 以下
	焼きつき	異常なし	
	傷・バリの発生	異常なし	
	腐食	異常なし	
	弁棒・ヨークの連結不良	異常なし	
ガスケット	食い込み	異常なし	
プラグ(弁体) ケージ(弁座)	弁体噛み込み	異常なし 測定値：13.5～14/100 mm	許容範囲(クリアランス) 12.0/100 ～21.0/100mm以内
	異物噛み込み	異常なし	
	腐食	異常なし	

B補助給水流量制御弁分解点検結果(3HCV-3121)



分解点検結果:異常なし
(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)

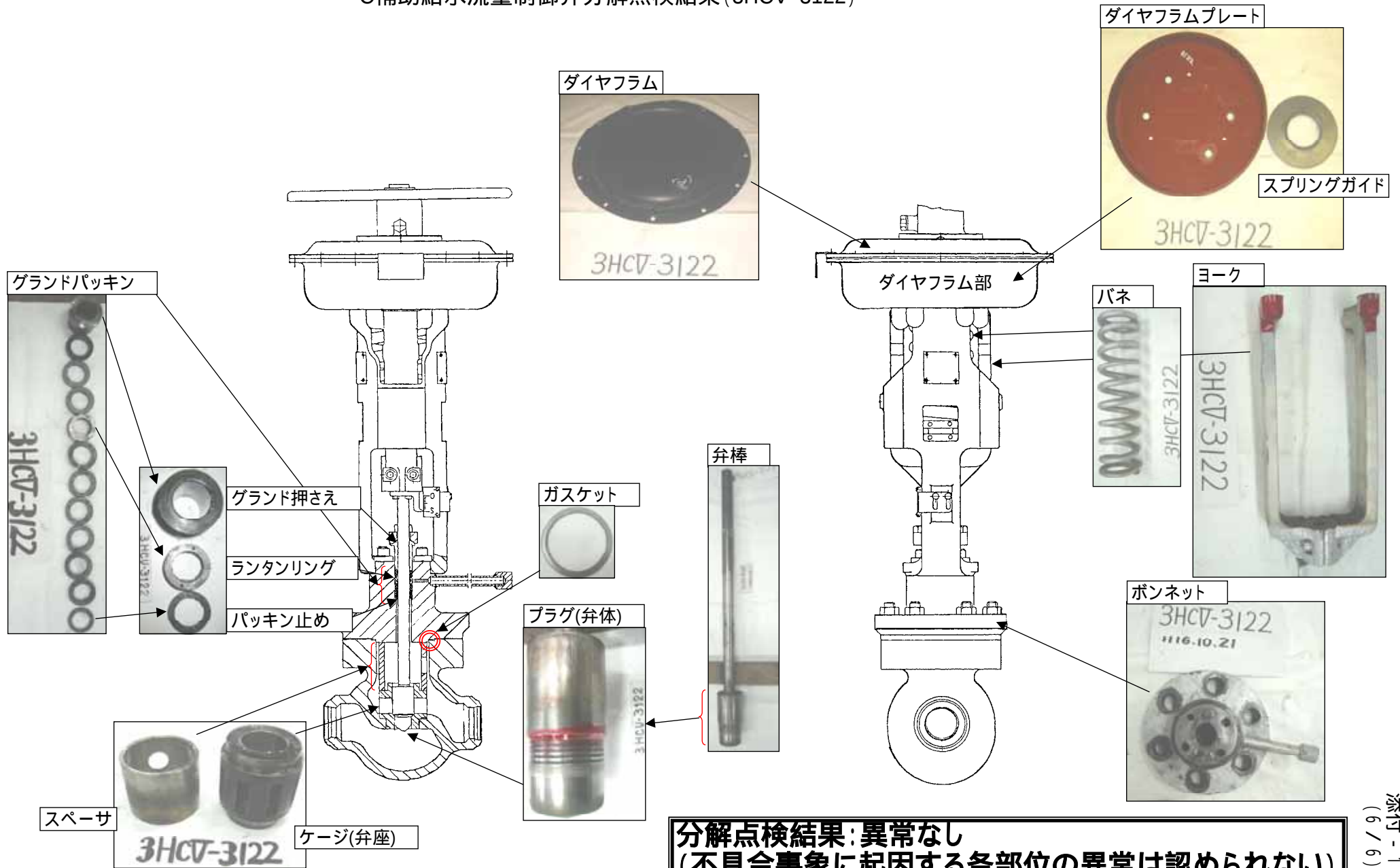
補助給水流量制御弁分解点検結果

3 . 弁本体分解点検

3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結 果	備 考
グランド押さえ	片締め	異常なし	
	締め過ぎ	測定値：5.0/5.0 N・m ・グランド緩めており参考値	初期締付けトルク基準値 11.0～15.0N・m
パッキン (グランド)	摺動抵抗増加	異常なし	
ランタンリング	焼きつき	異常なし	
	変形	異常なし	
パッキン止め (グランド)	変形	異常なし	
弁棒	曲がり	異常なし 測定値 プラグ：1/100 mm 弁 棒：1/100 mm	許容値 10/100mm 以下
	焼きつき	異常なし	
	傷・バリの発生	異常なし	
	腐食	異常なし	
	弁棒・ヨークの連結 不良	異常なし	
ガスケット	食い込み	異常なし	
プラグ（弁体） ケージ（弁座）	弁体噛み込み	異常なし 測定値： 12.5/100	許容範囲（クリアランス） 12.0/100 ～21.0/100mm 以内
	異物噛み込み	異常なし	
	腐食	異常なし	

C補助給水流量制御弁分解点検結果(3HCV-3122)



**分解点検結果:異常なし
(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)**

弁駆動部分解点検結果

4 . 弁駆動部分解点検

(1) 3 H C V - 3 1 2 0 A 補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結 果
バネ	バネ噛み込み	異常なし
	バネ曲り、変形	異常なし
ヨーク・ボンネット	変形	異常なし
ダイヤフラム部	ダイヤフラム破損	異常なし
	焼きつき	異常なし

(2) 3 H C V - 3 1 2 1 B 補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結 果
バネ	バネ噛み込み	異常なし
	バネ曲り、変形	異常なし
ヨーク・ボンネット	変形	異常なし
ダイヤフラム部	ダイヤフラム破損	異常なし
	焼きつき	異常なし

(3) 3 H C V - 3 1 2 2 C 補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結 果
バネ	バネ噛み込み	異常なし
	バネ曲り、変形	異常なし
ヨーク・ボンネット	変形	異常なし
ダイヤフラム部	ダイヤフラム破損	異常なし
	焼きつき	異常なし

補助給水ライン逆止弁分解点検結果

5 . 補助給水ライン逆止弁分解点検

(1) 3 F W - 5 5 5 A

点検対象部位	調査項目	結 果
弁 体	シ - ト不良	異常なし
弁 棒	動作不良	異常なし
弁体アーム	動作不良	異常なし
弁 座	シ - ト不良	異常なし

(2) 3 F W - 5 5 5 B

点検対象部位	調査項目	結 果
弁 体	シ - ト不良	異常なし
弁 棒	動作不良	異常なし
弁体アーム	動作不良	異常なし
弁 座	シ - ト不良	異常なし

(3) 3 F W - 5 5 5 C

点検対象部位	調査項目	結 果
弁 体	シ - ト不良	異常なし
弁 棒	動作不良	異常なし
弁体アーム	動作不良	異常なし
弁 座	シ - ト不良	異常なし

補助給水ライン逆止弁分解点検結果
(3FW-555A)

弁体、弁体アーム弁棒



座金とアームの隙間確認状態



弁体作動確認状態



弁座当り確認状態



弁体当り確認状態



分解点検結果: 異常なし
(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)

補助給水ライン逆止弁分解点検結果
(3FW-555B)

弁体、弁体アーム、弁棒



座金とアームの隙間確認状態



弁体作動確認状態



弁座当り確認状態



弁体当り確認状態

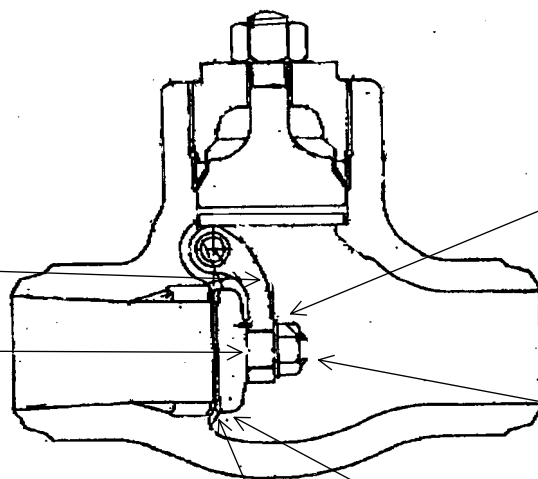


分解点検結果: 異常なし

(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)

補助給水ライン逆止弁分解点検結果
(3FW-555C)

弁体、弁体アーム、弁棒



座金とアームの隙間確認状態



弁体作動確認状態



弁座当り確認状態



弁体当り確認状態



分解点検結果: 異常なし

(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)

補助給水流量制御弁駆動部バネ定数計測結果

点検対象機器	バネ定数		計測値				結果	
	規格値 (kg / mm)	許容範囲 (規格値の ± 5 % 以内) (kg / mm)	荷重点 1		荷重点 2			バネ定数 (kg / mm)
			荷重 g1 (kg)	高さ h1 (mm)	荷重 g2 (kg)	高さ h2 (mm)		
A 弁 (3 H C V - 3 1 2 0)	16.15	15.3425 ~ 16.9575	165.3	460.25	984.0	409.27	16.06 [157.495N/mm]	異常なし
B 弁 (3 H C V - 3 1 2 1)			194.7	460.25	1020.0	409.27	16.19 [158.77N/mm]	異常なし
C 弁 (3 H C V - 3 1 2 2)			193.8	460.25	1043.0	409.27	16.66 [163.379N/mm]	異常なし

バネ定数計算式

$$\begin{aligned}
 \text{バネ定数} &= (\text{荷重点 1 における荷重} - \text{荷重点 2 における荷重}) \text{の絶対値} / (\text{荷重点 1 における高さ} - \text{荷重点 2 における高さ}) \text{の絶対値} \\
 &= (| g1 - g2 |) / (| h1 - h2 |) \quad (\text{kg} / \text{mm})
 \end{aligned}$$

A ～ C 弁の弁棒、弁体（プラグ）、弁座（ケージ）の寸法測定結果

ガイドクリアランス測定

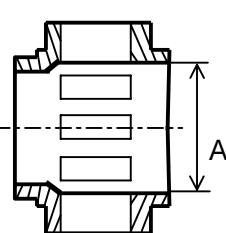
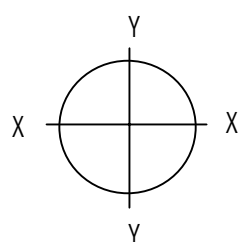
単位:mm

	ケージ内径寸法 A (基準値:53.2mm)		プラグ径寸法 B (基準値:53.08mm)		クリアランス (基準値:0.12～0.21mm)	
	X - X	Y - Y	X - X	Y - Y	X - X	Y - Y
A弁 (3HCV-3120)	53.20	53.20	53.07	53.07	0.13	0.13
B弁 (3HCV-3121)	53.195	53.20	53.06	53.06	0.135	0.14
C弁 (3HCV-3122)	53.20	53.20	53.075	53.075	0.125	0.125

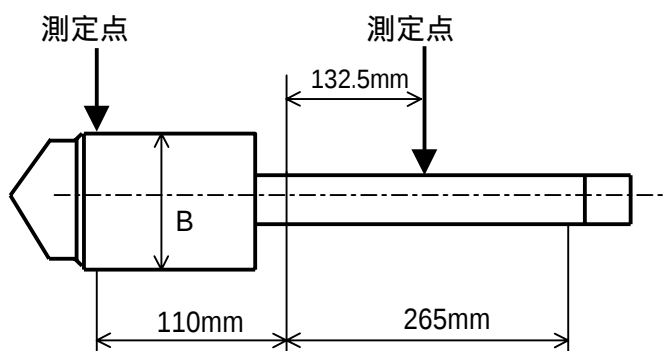
偏芯測定

単位:mm

	計測点 (許容値:0.1mm以下)	計測点 (許容値:0.1mm以下)
A弁 (3HCV-3120)	0.04	0.01
B弁 (3HCV-3121)	0.02	0.01
C弁 (3HCV-3122)	0.01	0.01



弁座(ケージ)



弁体(プラグ)

弁棒

補助給水流量制御弁の設計について

1. プラント異常の影響緩和に対する補助給水流量制御弁の要求機能と弁仕様の確認

補助給水流量制御弁は、下表に示す通り、プラント異常が発生した時の影響緩和機能を要求されており、その機能が要求される時の系統状態に基づく弁の使用条件を設定して、これらを満足する弁仕様を決定している。

〔要求機能〕

機 能	概 要	系統上の設計条件	弁に対する要求事項
流量調整機能	タービン動補助給水ポンプによる給水流量を調整し、健全蒸気発生器による冷却を確保する	タービン動補助給水ポンプが運転していること	・左記の系統状態で給水（流量調整）が可能なこと ・左記の系統状態で駆動用空気源喪失した時にも、給水が可能なこと
破損蒸気発生器の切り離し機能	タービン動補助給水ポンプから破損蒸気発生器への給水を停止する	タービン動補助給水ポンプが運転していること	・タービン動補助給水ポンプが運転されている状態で、弁閉止が可能なこと

（備考）・プラント異常時に上記機能を果たすため、通常運転時は「開待機」を運用条件としている。

〔設計条件および弁仕様〕

弁に対する要求事項	弁使用条件	弁仕様
タービン動補助給水ポンプが運転している状態で、給水（流量調整）が可能なこと	流量:49.3t/h 入口圧力：95.0kg/cm ² 出口圧力：88.5kg/cm ²	・弁使用条件に基づき C _v 値 40 の弁を選定 ・駆動用空気源喪失時開（F.O：フェイルオープン）の型式の弁を選定
タービン動補助給水ポンプが運転している状態で、弁閉止が可能なこと	最大差圧：125kg/cm ²	・保守的に最高使用圧力を設定 ・差圧は順流方向に作用。順流方向の最大差圧に対して閉止可能な駆動力を選定
一般的な基本機能を満足すること ・開閉機能	最高使用圧力：125kg/cm ² 最高使用温度：40	・開閉機能は、要求機能に基づく弁使用条件の範囲で開閉できること

プラント異常の影響を緩和するための要求機能に対する設計条件については、前述のとおり検討されており、弁仕様に適正に反映されていることを確認した。

2. 「開待機」状態の確立に対する弁仕様設計条件の確認

補助給水流量制御弁を「開待機」状態にする時の各系統状態が、設計条件に反映されているかを確認するために、以下の通り調査・確認を実施した。

《補助給水流量制御弁に「開待機」を要求する系統条件》

補助給水系統は、原子炉冷却系統温度が 177℃ 以上の状態で自動待機状態が確立されていることが要求されていることから、補助給水流量制御弁としては、その系統状態で「開待機」状態が要求されている。

《系統条件による弁仕様設計条件》

弁仕様設計条件：「弁入口圧力 弁出口圧力」を想定

(補助給水流量制御弁には、タービン動補助給水ポンプが起動状態で、補助給水の流量制御ならびに破損 S G の切り離しが出来ることが要求されていることから、弁使用中は順流方向の差圧が作用する。)

なお、補助給水流量制御弁の出口には逆止弁があり系統水が逆流しないことから、前述の機能要求範囲では、弁には順流方向にしか差圧が作用しないため、逆流方向に対する差圧を設計条件とはしていない。

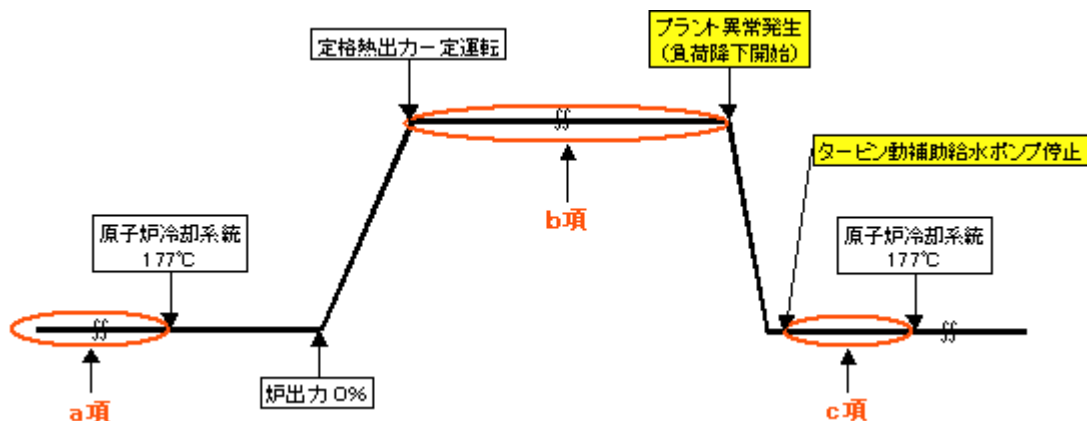
(1) 弁仕様設計条件に対する反映項目の有無確認

プラントの起動、運転、停止、異常緩和等の各系統状態において、当該弁を「開待機」とする操作時期としては、次の3パターンがあげられる。

[操作時期] a . プラント起動前の自動待機状態の確立操作時

b . タービン動補助給水ポンプ定期試験完了後の復旧操作時

c . 補助給水系統によるプラント異常影響緩和後の復旧操作時

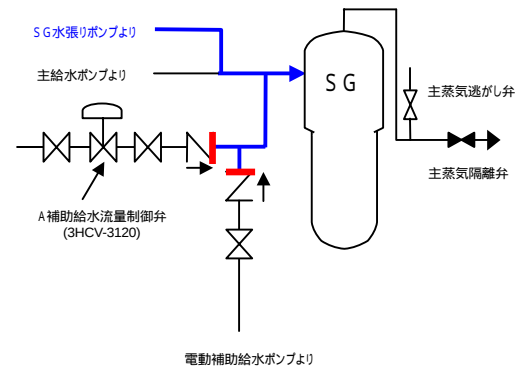


これらの操作時の系統状態について、当該弁の設計条件への反映状況を次の通り確認した。

a . プラント起動前の自動待機状態の確立操作時

この時期は、原子炉冷却系統温度が 177 未満の状態である。当該弁の「開待機」操作を行うが、このときの系統状態は、蒸気発生器の水張り系統による給水操作中であり、当該弁下流の逆止弁出口には水張り系統からの給水圧力が加わるが、当該弁の出口には逆止弁の働きにより圧力が加わらない状態である。。（弁入口圧力 = 弁出口圧力）

したがって、この系統状態は当該弁の設計条件内であることを確認した。

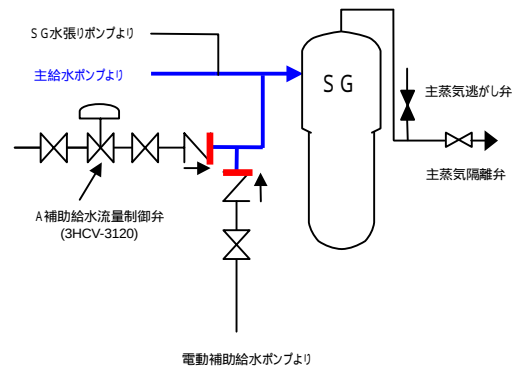


b . タービン動補助給水ポンプ定期試験完了後の復旧操作時

タービン動補助給水ポンプは、プラント運転中に健全性確認のための定期試験を実施しており、これに伴い当該弁の閉止操作を行っている。このときの系統状態は、主給水系統による給水中であり、当該弁下流の逆止弁出口には主給水系統からの給水圧力が加わるが、当該弁の出口には逆止弁の働きにより圧力が加わらない状態である。

（弁入口圧力 = 弁出口圧力）

したがって、この系統状態は当該弁の設計条件内であることを確認した。



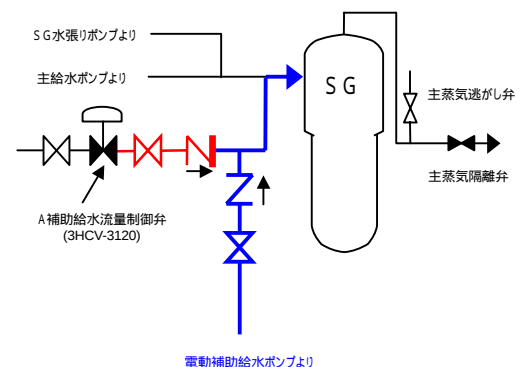
c . 補助給水系統によるプラント異常の影響緩和後の復旧操作時

原子炉トリップにより補助給水系が正常に機能して、1次系の除熱が適切に行われた場合、当該弁が閉止された後タービン動補助給水ポンプが停止され、その後同ポンプ系統を自動待機状態にするために当該弁の「開待機」操作が行なわれる。

このときの系統状態は今回の動作不具合発生時と同様に、当該弁が閉止され、続いて主蒸気隔離弁の閉止により主蒸気圧力が上昇し、逆止弁が閉止することから、当該弁と下流の逆止弁との間に高圧給水が背圧として封じ込められ、さらにポンプの停止により「弁入口圧力 < 弁出口圧力」となる。

この状態で弁出口圧力が当該弁の弁開放力を上回ると、弁の開操作ができなくなるが、特にポンプが停止中の弁開放力は、ポンプ吐出圧力分だけポンプ起動中の弁開放力より小さくなることから、当該弁を開操作できなくなる可能性が高くなる。

したがって、この系統状態は当該弁の設計条件外であることを確認した。



(2) 確認結果

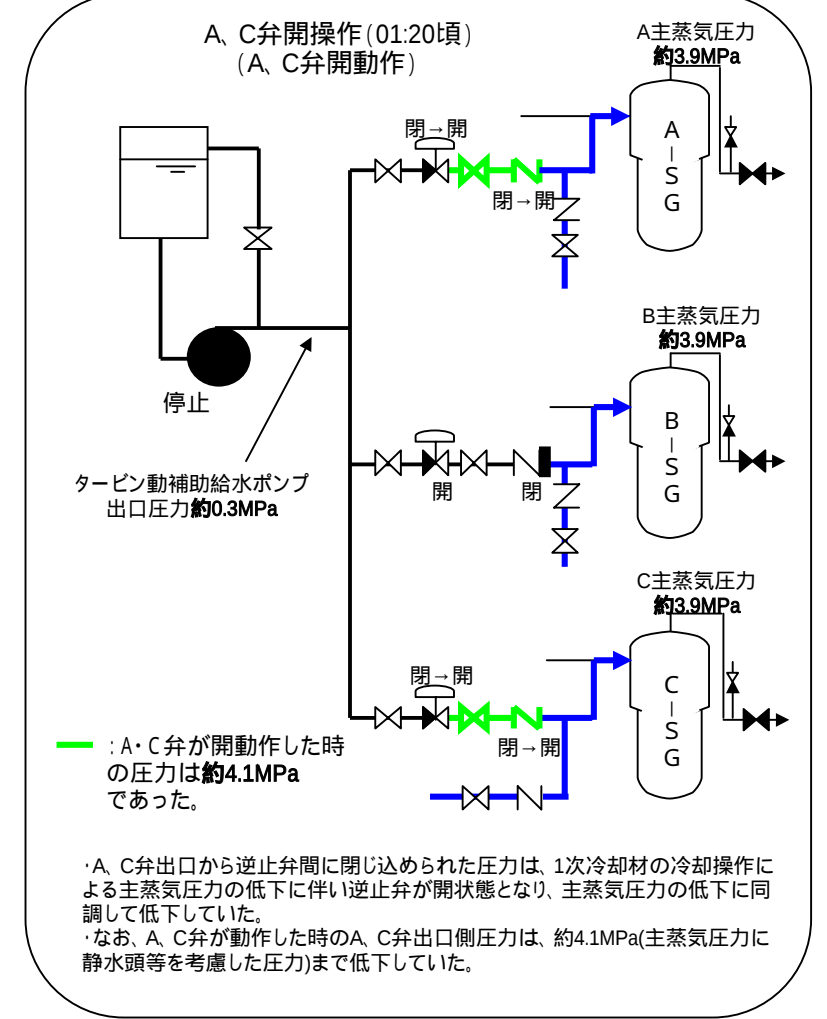
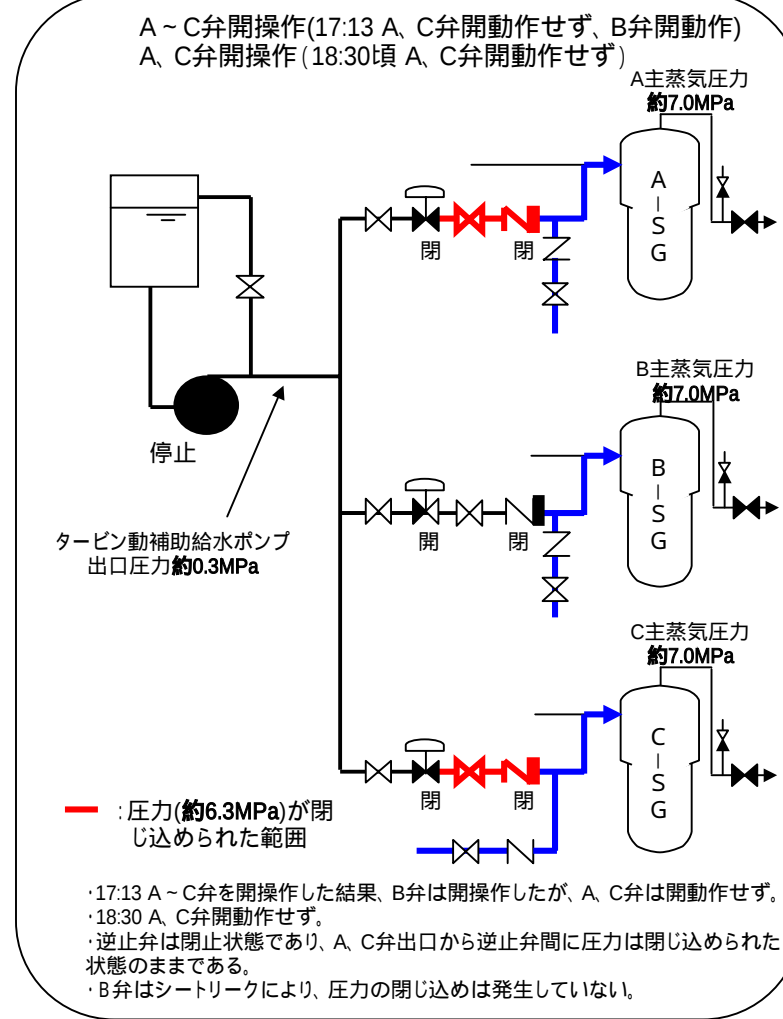
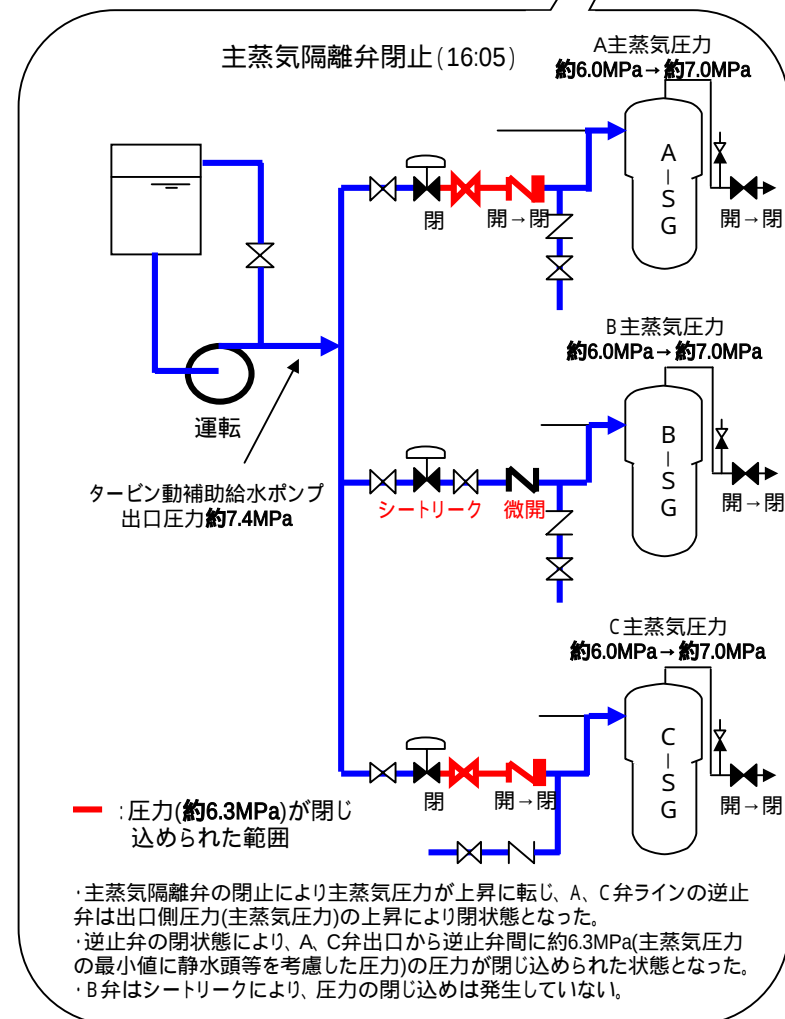
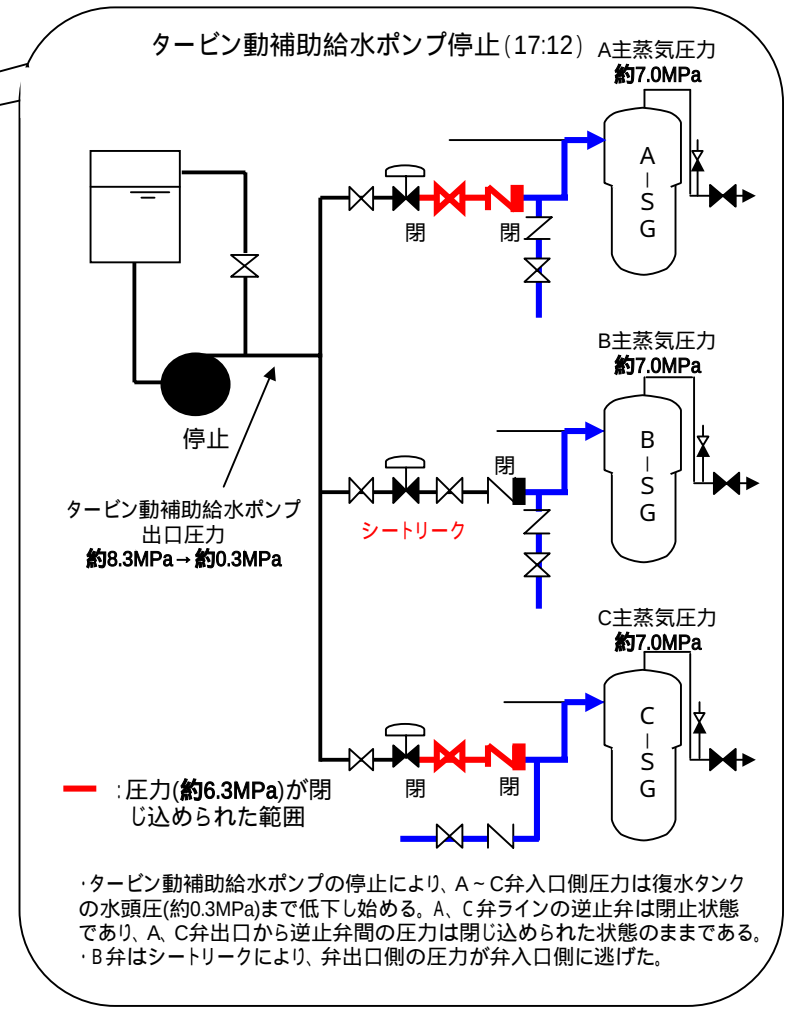
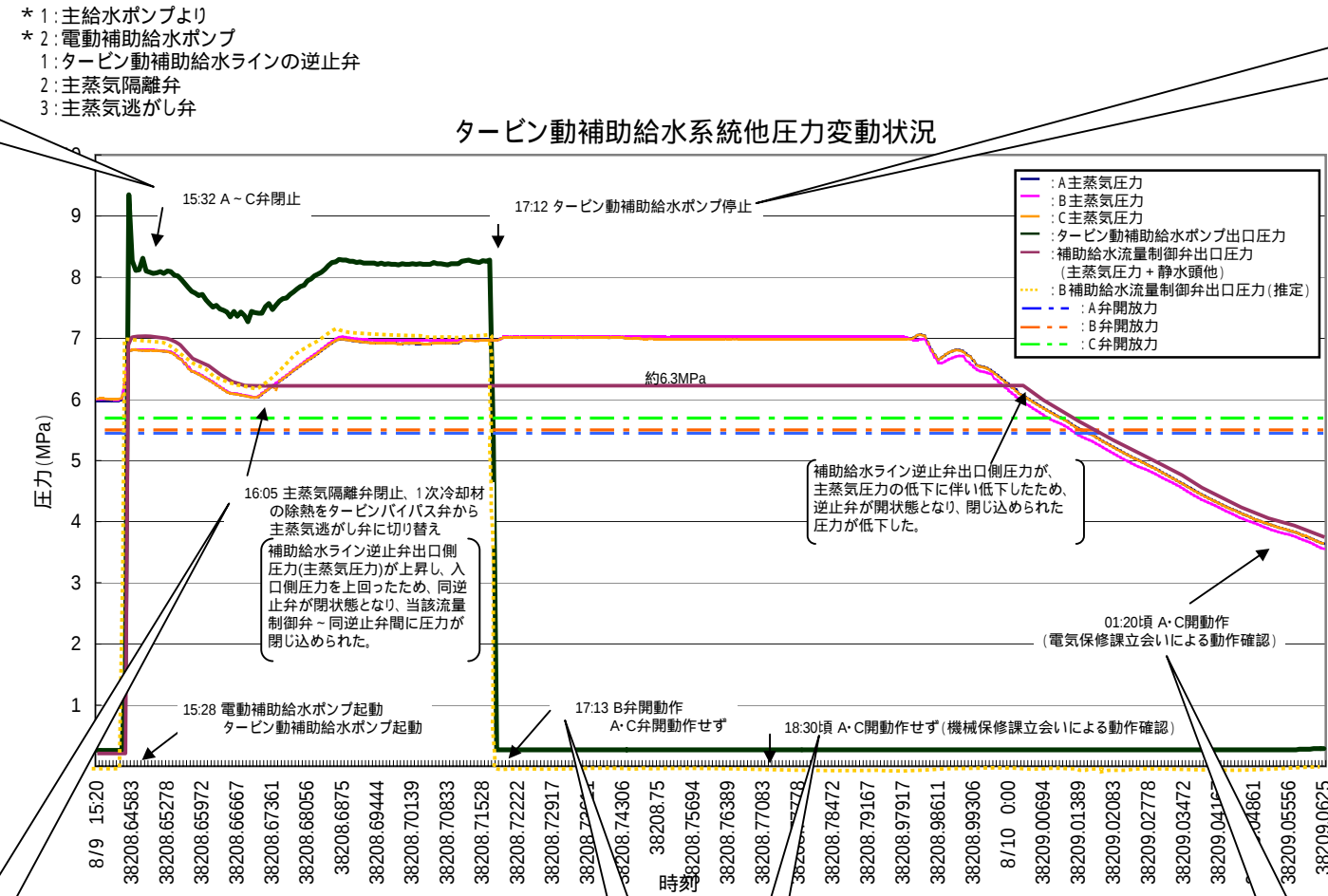
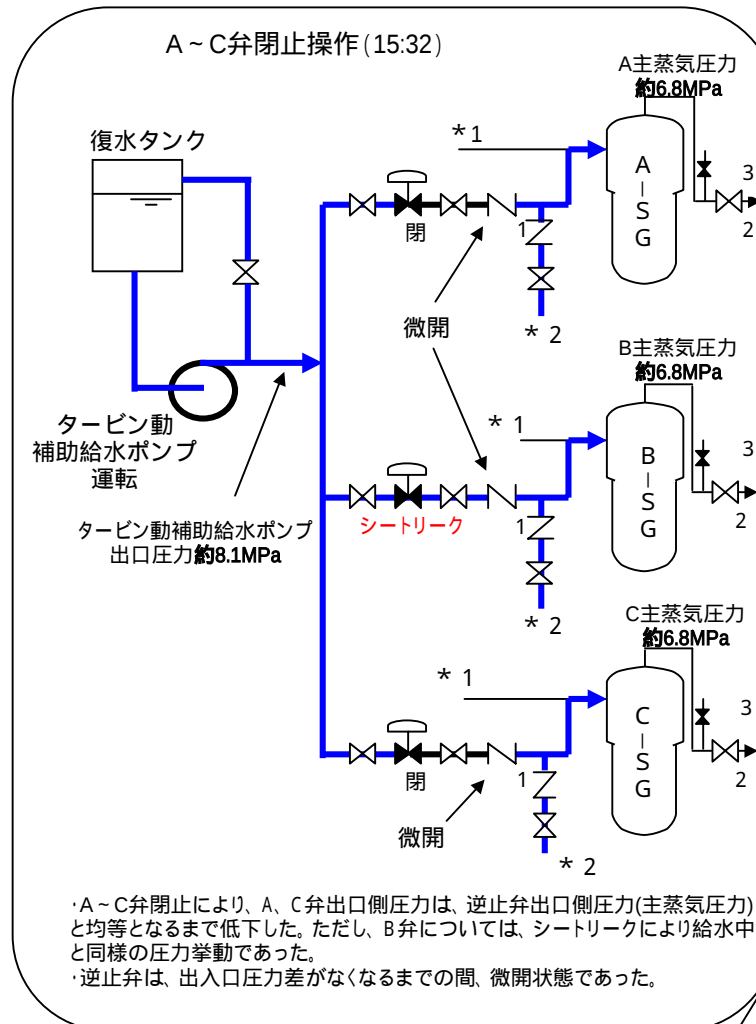
今回の確認により、補助給水流量制御弁を「開待機」とする時の系統状態の内、当該弁の設計条件に改めて反映すべき系統状態は、「c . 補助給水系統によるプラント異常の影響緩和後の復旧操作時」の系統状態であることが確認された。

なお、当該弁の現状の弁仕様を確認したところ、この系統状態が弁仕様に反映されていないことを確認したことから、今回の一時的な動作不具合は、前述の c 項の系統状態が補助給水流量制御弁の設計条件に反映されていなかったことによるものと推定される。

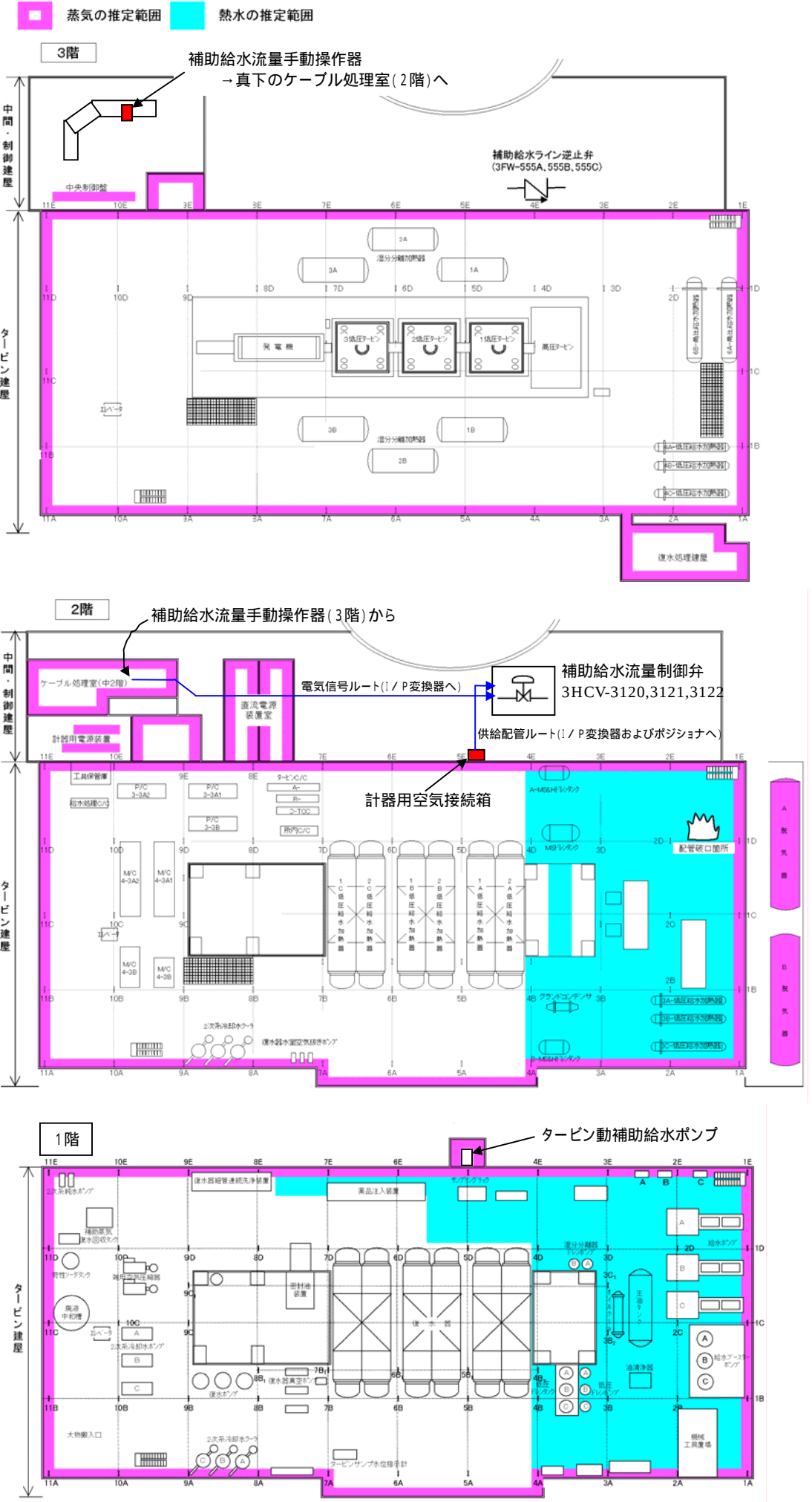
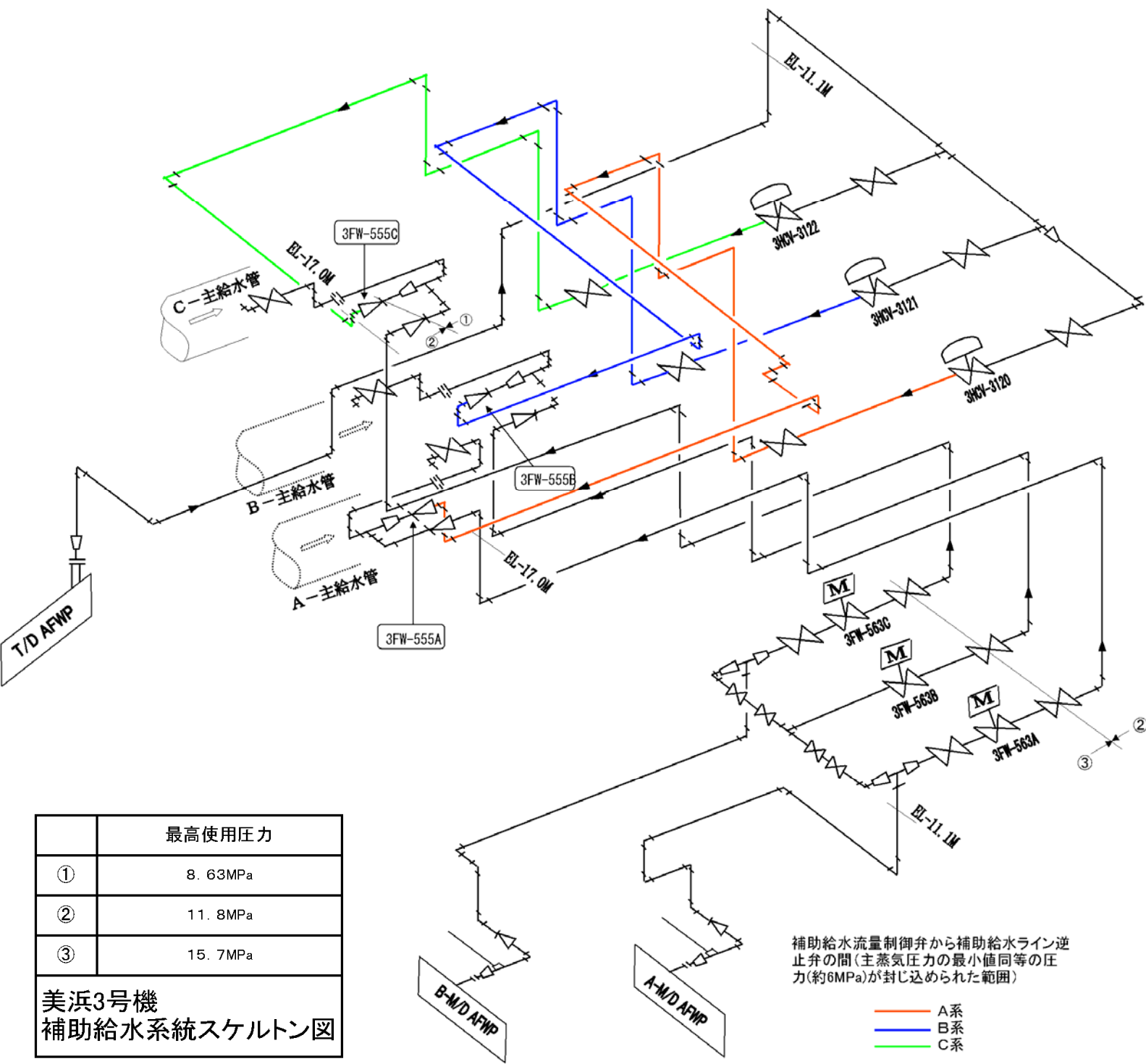
補助給水流量制御弁の事故時動作不調時の時系列挙動

時 系 列		当該弁及び関係するプラントの状態	主蒸気圧力 (MPa)			タ - ビン動補助給水ポンプ 出口圧力 (MPa)	弁前後差圧に関する挙動
時 刻	操 作		A	B	C		
15:28	タ - ビン動補助給水ポンプ自動起動 電動補助給水ポンプ自動起動	A , B , C 弁とも開待機状態より、通水を開始した。	6.314	6.333	6.335	(15:27) 0.26 (15:28) 1.33 (15:29) 9.35	-
15:31	-	主 蒸 気 圧 力 は プ ラ ン ト 自 動 停 止 (15:28)により、右欄の圧力まで上昇後、減少した。	最高値 6.811	最高値 6.819	最高値 6.810	8.11	ポンプ運転中は、弁入口側圧力が高い状態 (順圧) にあった。
15:32	A , B , C 弁閉止 (順番 A B C)	A , B , C 弁とも閉止状態となった。	6.809	6.813	6.805	8.12	弁閉止により、弁出口側圧力は逆止弁出口側圧力 (主蒸気圧力) と均等となるまで、低下し始めた。
16:05	主 蒸 気 隔 離 弁 閉 止、1 次 冷 却 材 の 除 熱 を タ - ビ ン バ イ パ ス か ら 主 蒸 気 逃 が し 弁 に 切 り 替 え	主 蒸 気 圧 力 は、上 昇 に 転 じ た。	最小値 6.032	最小値 6.035	最小値 6.028	7.42	弁出口から逆止弁間に主蒸気圧力の最小値同等の圧力 (約 6.3MPa) が、閉じ込められた状態となった。
17:12	タ - ビン動補助給水ポンプ停止	-	6.978	6.968	6.971	8.28 → 0.27	タービン動補助給水ポンプの停止により弁入口側圧力が低下し始めた。その後、同ポンプは完全に停止し弁前後差圧が高い状態となった。
17:13	A , B , C 弁開放操作 (順番 A B C)	B 弁のみ開動作	6.974	6.968	6.968	0.27	-
18:30	A , C 弁のグラントを緩め、開放操作を実施	A , C 弁とも、開動作せず	6.991	7.023	6.982	0.27	弁前後差圧は、依然高い状態にあった。
01:20	A , C 弁の開放操作を実施	A , C 弁とも開動作	3.859	3.786	3.860	0.27	弁前後差圧は、低い状態となった。

タービン動補助給水系統他圧力変動状況と系統状態



美浜 3 号機 補助給水系統スケルトン図



補助給水流量制御弁と逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力の評価

8月9日 16時05分時点

	閉じ込められた 系統水圧力 P_{out} (MPa[gage])	蒸気発生器圧力 [主蒸気圧力] P_{sg} (MPa[gage])	補助給水配管 圧力損失 ΔP_L (MPa)	静水頭 H (MPa)	静水頭(蒸気) H_s (MPa)
A弁 (3HCV-3120)	約 6.29	6.032	0.0065	0.252	0.0047
B弁 (3HCV-3121)	約 6.29	6.035	0.0060	0.252	0.0047
C弁 (3HCV-3122)	約 6.28	6.028	0.0060	0.252	0.0047

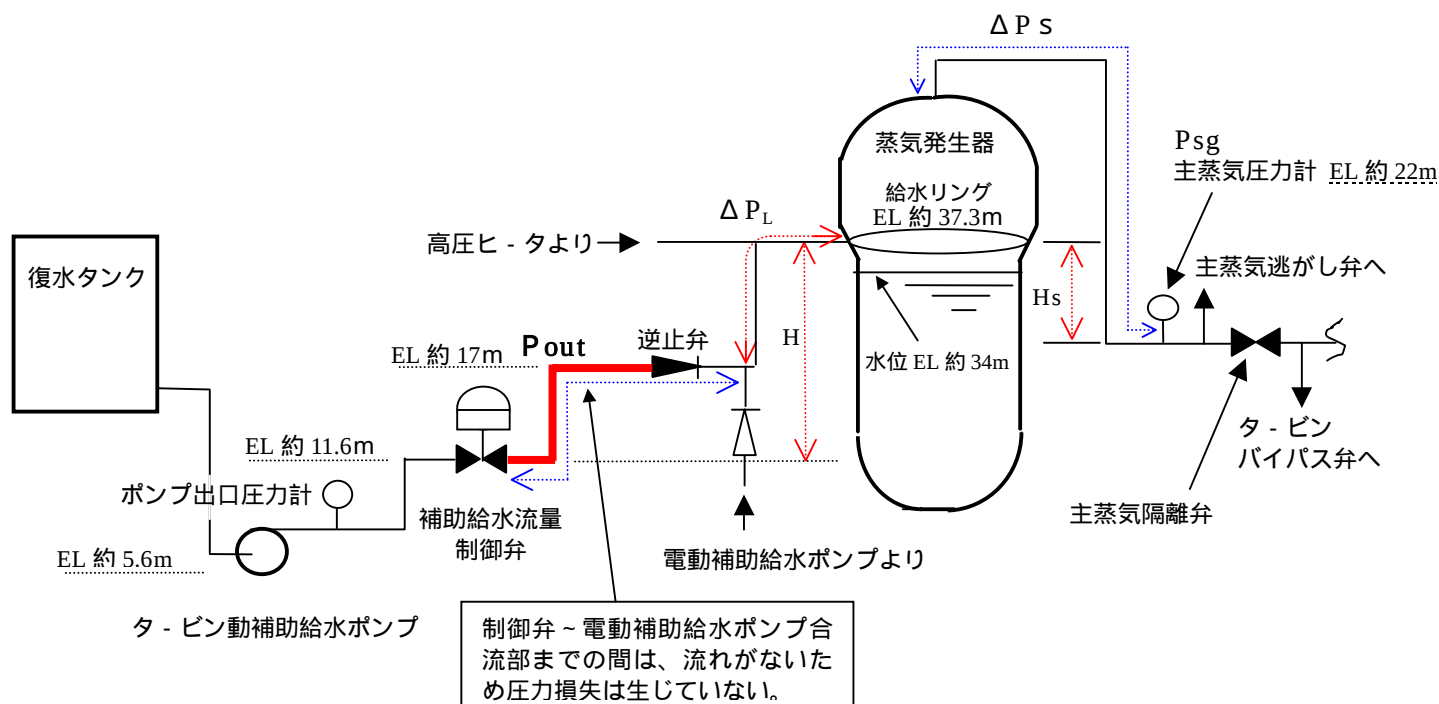
注：数値は、8月9日 16時05分（逆止弁により系統水が閉じ込められたと考えられる時点）の運転パラメータ（主蒸気圧力、補助給水流量、蒸気発生器水位）を用いて算出している。

< 計算式 >

$$P_{out} = (P_{sg} - H_s + \Delta P_s) + \Delta P_L + H$$

- ・ ΔP_s (主蒸気ライン圧力損失)は、蒸気の流れがほとんどないことから考慮しない。
- ・ 制御弁から電動補助給水ポンプ合流部までの配管圧力損失は、流れがなく圧力損失は生じていないため、考慮しない。
- ・ 給水リング部の圧力損失は、小さいため考慮しない。

タ - ビン動補助給水ライン系統概略図



補助給水流量制御弁の弁開放力と開放抑止力との比較

弁の開動作は、弁開放力が弁出口側から逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力による開放抑止力を上回ることにより行なわれる。弁開放力は次式により求め、今回の補助給水流量制御弁のポンプ停止中の弁開放力を下表のとおり算出し、弁出口側から逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力による開放抑止力との比較を行なった。

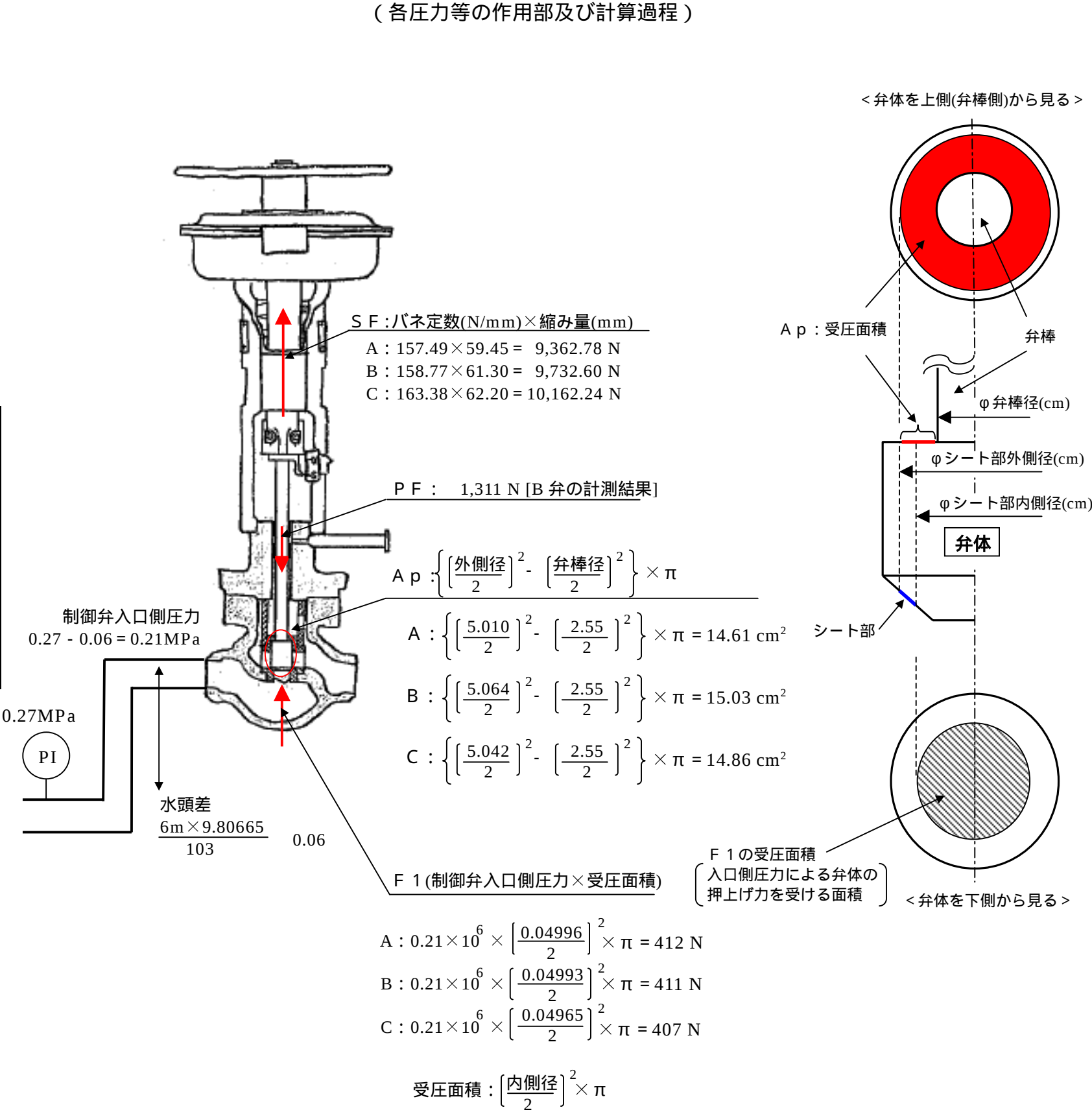
< 計算式 >

弁開放力 = $\frac{SF + F1 - PF}{A_p}$ (MPa)

ここに SF : 弁全閉時のバネ荷重 (N)
F1 : 入口側圧力による弁体の押上力 (N) [シート径はシート部内側の値を使用]
PF : グランドパッキン摺動抵抗 1,311N[B 弁の計測結果]
A_p : 弁体に押付力を生じる受圧面積 (cm²) [シート径はシート部外側の値を使用]

	シート径 (cm)	SF (N)	F1 (N)	PF (N)	A _p (cm ²)	弁開放力 (MPa)	閉じ込められた 系統水圧力 (MPa)
A 弁 (3HCV-3120)	内 4.996 ~ 外 5.010	9,363	412	1,311	14.61	5.79	約 6.29
B 弁 (3HCV-3121)	内 4.993 ~ 外 5.064	9,733	411	1,311	15.03	5.88	約 6.29
C 弁 (3HCV-3122)	内 4.965 ~ 外 5.042	10,162	407	1,311	14.86	6.23	約 6.28

[結果]
上表のとおり、ポンプ停止中の弁開放力が、閉じ込められた系統水圧力による開放抑止力を上回っている弁はなかった。



確 認 試 験 結 果

1．試験内容

今回の A・C 弁の一時的な不動作について、弁の背圧が開放動作に及ぼす影響を、C 弁を再組立てし、実機を用いて背圧を加えた状態で開動作する圧力確認を行い、背圧と開動作の関係を確認した。（試験系統等は別紙参照）

なお、開動作した B 弁も比較のために実施した。

2．試験結果

（1）背圧降下時の開動作試験

背圧について、推定した弁開放力^{*1}を上回る圧力まで加圧し、開動作信号を入れたまま系統水をブローすることにより徐々に背圧を降下させて、弁が開動作した時の背圧を確認した。

その結果、C、B 弁ともに推定した弁開放力を上回る背圧が加わっている状態では開動作せず、弁開放力を下回る背圧で開動作した。

* 1：タービン動補助給水ポンプが停止中の弁開放力

	推定弁開放力（* 2） （MPa）	回数	試験開始時の背圧 （開信号入力時） （MPa）	開動作時の背圧 （MPa）
C 弁	6.36～6.38 （試験前：6.36 試験後：6.38）	1	6.56	6.13
		2	6.56	6.12
		3	6.54	6.19
B 弁	5.92～5.97 （試験前：5.92 試験後：5.97）	1	6.36	5.73
		2	6.32	5.67
		3	6.32	5.84

* 2：今回計測したグラندパッキン摺動抵抗値および復水タンク水頭による弁入口圧力等からの推定値

(2) 各背圧での開動作試験

背圧を推定した弁開放力前後に調整し、各背圧においてそれぞれ開動作信号を入れて弁の動作を確認した。

その結果、C、B 弁ともに推定した弁開放力を上回る背圧が加わっている状態では開動作せず、弁開放力の近くもしくは下回る背圧で開動作した。

	推定弁開放力 (* 2) (MPa)	背圧と開動作の有無
C 弁	6.36 ~ 6.38 (試験前 : 6.36 試験後 : 6.38)	6.60 MPa : ×
		6.50 MPa : ×
		6.38 MPa : ○
		6.32 MPa : ○
		6.23 MPa : ○
		4.16 MPa : ○
B 弁	5.92 ~ 5.97 (試験前 : 5.92 試験後 : 5.97)	6.41 MPa : ×
		6.30 MPa : ×
		6.20 MPa : ×
		6.10 MPa : ×
		6.00 MPa : ×
		5.90 MPa : ○
		4.11 MPa : ○

注 × : 開動作せず、○ : 開動作した

* 2 : 今回計測したグラندパッキン摺動抵抗値および復水タンク水頭による弁入口圧力等からの推定値

3 . 考察

試験結果から、A、C 弁に一時的に不動作が認められた原因は、推定した弁開放力を上回る背圧が当該弁に加わっていたためと考えられる。

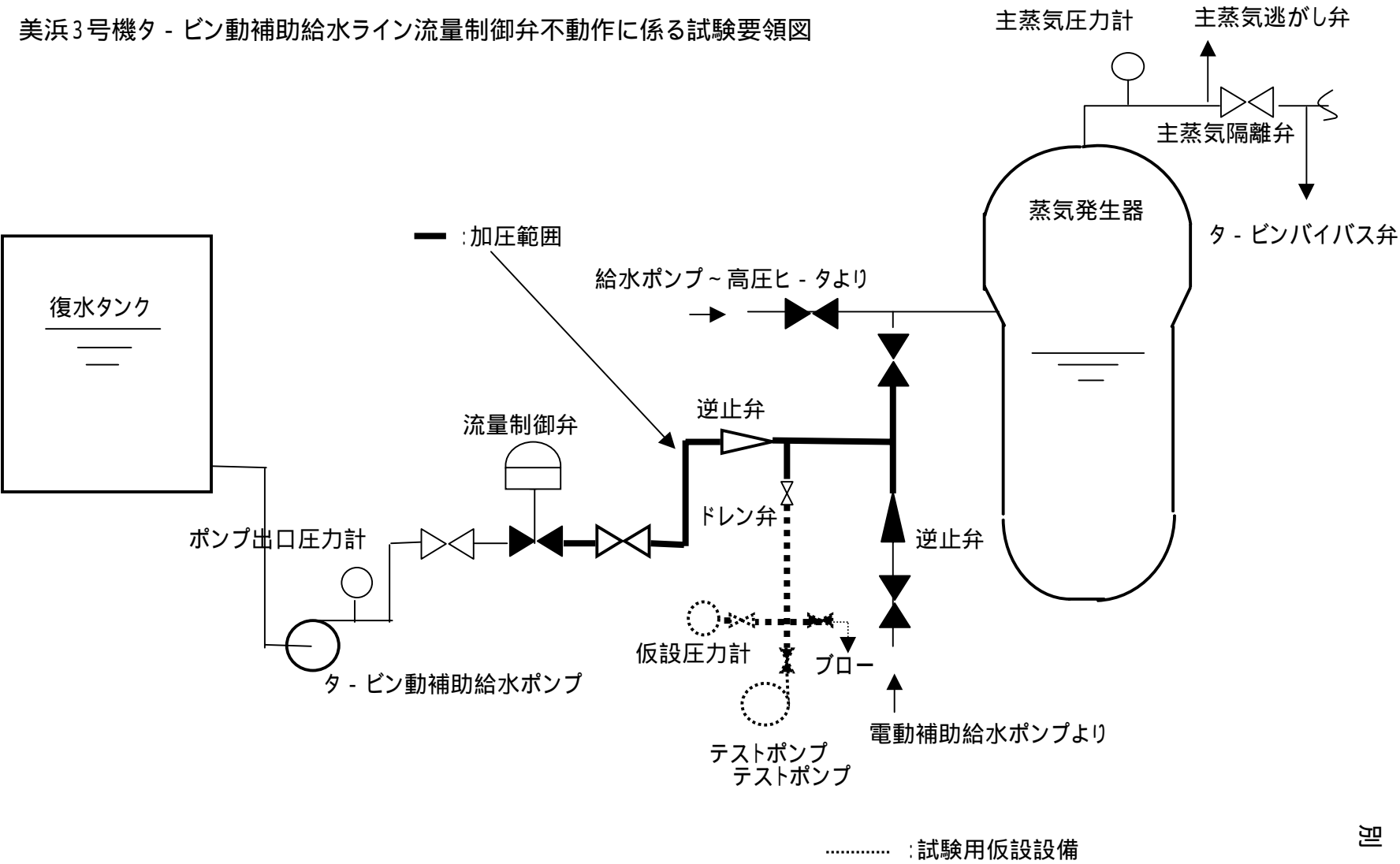
なお、今回の試験結果では B 弁についても推定した弁開放力を上回る背圧が加わっていた状態では開動作しなかったことから、B 弁については事故当時に弁シートリークにより僅かな系統水が逃げたことにより、推定した弁開放力を上回る背圧が加わらなかったため開動作したものと推定される。

以 上

別紙 - 1 : 美浜 3 号機タービン動補助給水ライン流量制御弁不動作に係る試験要領図

- 2 : 組立後の B、C 弁の弁開放力評価

美浜3号機タ - ビン動補助給水ライン流量制御弁不動作に係る試験要領図



組立後のB、C弁の弁開放力評価

今回の試験のためにB、C弁の再組立を実施し、各弁の弁開放力を次により評価した。

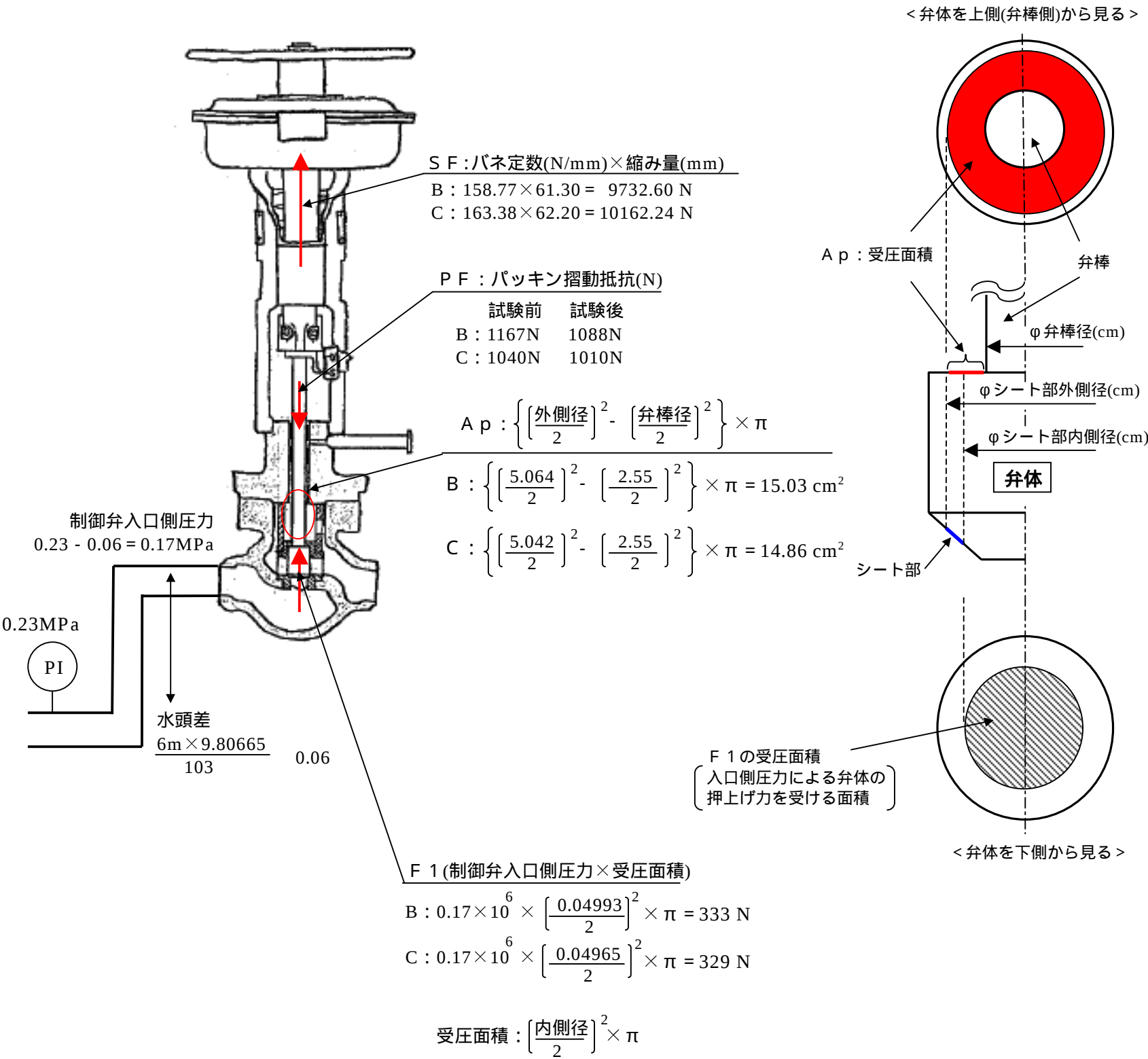
< 計算式 >

弁開放力 = $\frac{SF + F_1 - PF}{A_p}$ (MPa)

ここに SF : 弁全閉時のバネ荷重 (N)
F₁ : 入口側圧力による弁体の押上力 (N) [シート径はシート部内側の値を使用]
PF : グランドパッキン摺動抵抗
A_p : 弁体に押付力を生じる受圧面積 (cm²) [シート径はシート部外側の値を使用]

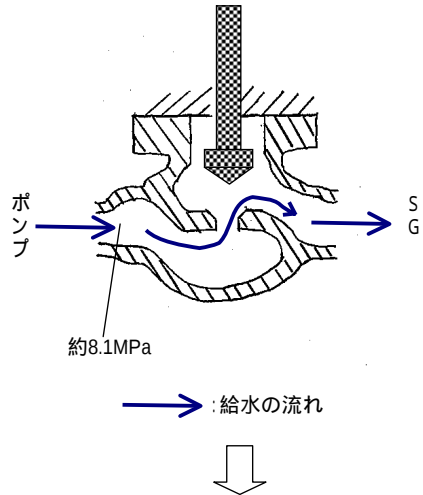
	シート径 (cm)	SF (N)	F ₁ (N)	PF (N)	A _p (cm ²)	開放力 (MPa)
B 弁 (3HCV-3121)	内 4.993 ~ 外 5.064	9733	333	試験前 1167	15.03	試験前 5.92
				試験後 1088		試験後 5.97
C 弁 (3HCV-3122)	内 4.965 ~ 外 5.042	10162	329	試験前 1040	14.86	試験前 6.36
				試験後 1010		試験後 6.38

(各圧力等の作用部及び計算過程)

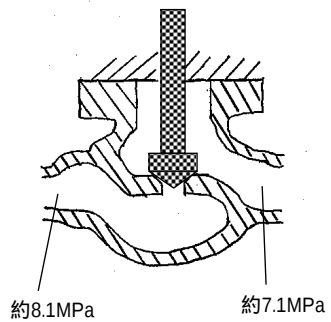


推定メカニズム

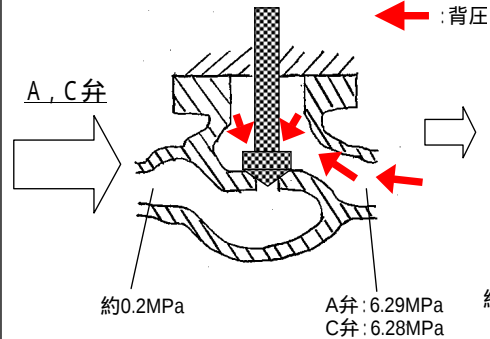
弁開放中(給水中)
タービン動補助給水ポンプ運転中
(15:31)



弁閉止時(15:32)

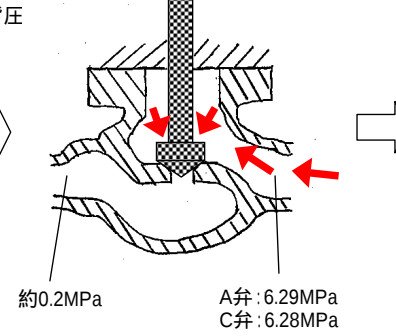


弁開操作時
(17:13)

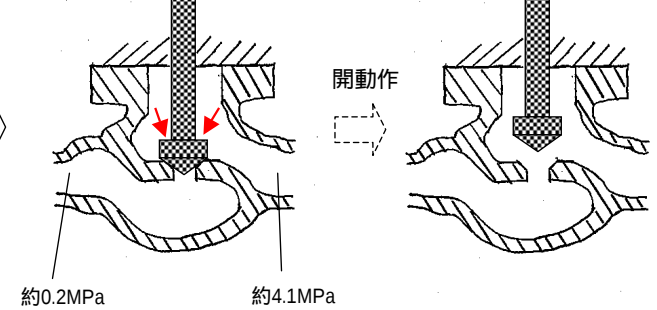


弁の開放力(A弁: 5.79MPa、C弁: 6.23MPa)より、背圧(A弁: 6.29MPa、C弁: 6.28MPa)が上回っているため開動作しなかった。

弁開放操作時
(18:30)



弁開放操作時
(8/10 01:20)



弁の開放力(A弁: 5.79MPa、C弁: 6.23MPa)より、背圧(約4.1MPa)が下回ったため開動作した。

B 弁開動作の検討

系統状態として、弁出口の背圧が各弁の弁開放力を上回っていたにもかかわらず、B 弁のみが開動作した要因について、次の通り検討を実施した。

1 . 点検結果

B 弁のみが開動作した要因について F T 図（別紙 - 1）により洗い出しを行い、次の通り点検を実施した。

（ 1 ）制御弁本体の点検結果

制御弁本体について、分解後の外観目視確認及び組立後の耐圧漏えい確認を実施した。

a . 外観目視確認 （ 別紙 - 2,3 ）

（ a ）弁グランド部（弁グランドリークオフ管を含む）

弁グランド部からの系統水漏えい痕跡の有無を確認した結果、漏えいの痕跡はなく異常はなかった。また、分解前にグランドの締付トルクを計測した結果、初期値と比較して大きな変化はなく異常はなかった。

（ b ）弁体及び弁座（弁シート面を含む）

弁体と弁座の噛み込みの有無、弁シート面の異物の有無、弁シート面の傷やリークパスの有無及び、ガスケットの取付状態等の確認を実施した結果、異常はなかった。ただし、弁シート面の状態を拡大観察した結果、有意な傷や明確なリークパスはなかったものの、A、C 弁では見られなかった肌荒れやピット状のくぼみが確認された。

b . 耐圧漏えい確認

制御弁本体各部からの漏えいの有無を確認した結果、グランド部やガスケット部からの漏えいはなかったものの、弁シートリークが原因と考えられる有意な圧力降下が確認された。これはC 弁の圧力降下率と比較して約 3 倍であった。

なお、この弁のシートリークは、弁の開閉を数回行ったことにより弁シート面の状態が改善されたと考えられ、有意な圧力の降下はない状態となった。

		B 弁		C 弁	
		加圧圧力 (MPa)	圧力降下率 (MPa/5 分)	加圧圧力 (MPa)	圧力降下率 (MPa/5 分)
12 月 2 日		7.28	0.17	7.34	0.05
12 月 3 日		6.68	0.02	6.70	0.03
12 月 7 日	1 回目	7.33	0.04	7.35	0.02
	2 回目	6.73	0.02	6.75	0.01
	3 回目	7.32	0.03	7.36	0.02
	4 回目	6.72	0.02	6.74	0.01

（ 注：12 月 7 日は 2 回目と 3 回目の間に弁の開閉を実施 ）

(2) 配管、手動弁及び逆止弁の点検結果

B 弁の出口から逆止弁までの間の配管、手動弁及び逆止弁について、外観目視確認及び耐圧漏えい確認を実施した。

a . 外観目視確認

配管、手動弁グランド部及び逆止弁ガスケット部について、系統水漏えいの痕跡の有無を確認した結果、漏えいの痕跡はなく異常はなかった。

b . 耐圧漏えい確認

配管、手動弁及び逆止弁の各部からの漏えいの有無を確認した結果、漏えいはなく異常はなかった。

(3) 弁駆動用バネの点検結果

(添付資料 - 18)

外観目視確認にて、駆動用バネの噛み込みや変形の有無の確認を実施した結果、異常はなかった。また、バネ定数に変化がないか確認した結果、規格値の許容範囲内であり異常はなかった。

(4) タービン動補助給水ポンプ運転状況及び弁入口側圧力の確認

事故当時のタービン動補助給水ポンプの運転状況や弁入口側圧力について、アナウンスメントタイプライタの記録や運転パラメータ記録等により、確認を実施した。

a . タービン動補助給水ポンプの慣性による回転時間の確認

タービン動補助給水ポンプは、停止操作後ある一定の時間は慣性により回転しているが、この慣性による回転時間について過去の定期試験時の記録により確認を実施した結果、停止操作後平均約 50 秒間は慣性で回転していることを確認した。

なお、ポンプが慣性で回転している間は、ポンプの回転状況に応じた吐出圧力が発生しているものと推定される。

b . 弁入口側圧力の確認

事故当日の弁入口側圧力について、運転パラメータ等により確認を実施した結果、タービン動補助給水ポンプが運転中は、弁入口側圧力が 7 ～ 8MPa で推移しており、停止後は 0.21MPa まで低下していたことを確認した。

(5) 弁開閉操作状況の確認結果

事故当時の弁の開閉操作状況について、開閉操作を実施した発電室員への聞き取り調査やアナウンスメントタイプライタの記録により、確認を実施した。

a . 弁の閉止操作状況確認

(別紙 - 4)

弁閉止操作状況について、発電室員への聞き取り確認とアナウンスメントタイプライタの記録による確認を実施した結果、A ～ C 弁の閉止操作は、中央制御室の手動操作器により A → B → C の順番で確実に実施されており、アナウンスメントタイプライタの記録からも、各弁の手動操作器の弁開度制御信号が「0%」であったことから、B 弁が全閉状態であったことを確認した。

b. 弁の開放操作状況確認

弁開放操作状況について、発電室員への聞き取り確認とアナウンスメントタイプライタの記録の確認を実施した結果、A～C弁の開放操作は、中央制御室の手動操作器によりA→B→Cの順番で実施しており、各弁ともに同じ開放操作方法で実施していたことを確認した。

また、B弁の開放操作は、タービン動補助給水ポンプの停止操作の約65秒後に実施されており、その時点ではポンプの慣性による回転が停止していたと考えられ、弁の入口側には同ポンプの慣性回転による残圧はない状態であったと考えられる。

(6) 弁開放力の相違

A～C弁のポンプ停止中の弁開放力を、弁全閉時のバネ荷重、弁入口側圧力による弁体の押上力及びグランドパッキン摺動抵抗等から推定した結果、A弁は約5.79MPa、B弁は約5.88MPa、C弁は約6.23MPaであり、B弁が他弁よりも突出して大きいものではなかった。

(7) 制御弁の設計要求事項の確認

(添付資料 - 15)

当該弁は流量制御弁であり、設計要求としては、流量を弁の開閉により制御できること、および破損蒸気発生器への給水を停止し切り離すことが求められているが、隔離機能については特に要求されていないことを確認した。

2. 要因の評価

前述の点検結果を踏まえて、今回のB弁の開動作について要因評価を次の通り実施した。

(1) 制御弁本体について

各部の構造及び取付状態等には異常がなかったが、耐圧漏えい確認にて弁シートリークが要因と考えられる有意な圧力降下を確認されたことから、事故当時のB弁にも弁シートリークが発生していた可能性が考えられる。

なお、B弁の弁体・弁座のシート面に認められた肌荒れやピット状のくぼみが、事故当時のB弁の弁シートリークに影響していた可能性は否定できない。

(2) 配管、手動弁及び逆止弁について

外観目視確認や耐圧漏えい確認により、系統水の漏えいがなく異常がないことが確認されたことから、B弁の開動作の要因としては考えられない。

(3) 駆動用バネについて

外観目視確認やバネ定数の評価により、異常がないことが確認されたことから、B弁の開動作の要因としては考えられない。

(4) 弁の開閉操作について

弁の開閉操作については、B弁に限った特異な操作は実施されておらず問題

なかったことから、B弁の開動作の要因としては考えられない。また、弁開操作時の弁入口側圧力についても、B弁に限った特別な状態にはなかったことから、これについてもB弁の開動作の要因としては考えられない。

(5) 弁開放力の相違

B弁のポンプ停止中の弁開放力是他弁と同等であり、特異性がないことが確認されたことから、B弁の開動作の要因としては考えられない。

以上の評価結果から、B弁のみが開動作した要因は、A～C弁を閉止操作した時点でB弁はシートリーク状態となっており、弁出口側に閉じ込められるはずの背圧が弁入口側へ逃げたことから、ポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が加わらなかったためと考えられる。

なお、B弁のシートリークの原因として、弁体・弁座のシート面に認められた肌荒れやピット状のくぼみの影響は否定できない。

また、シートリークによる系統水のリーク量については、B弁に加わる最大背圧（約 7.22MPa）とB弁のポンプ停止中の弁開放力（約 5.88MPa）との差圧（約 1.34MPa）をなくすためには、約 40cc 程度の僅かなリーク量と評価され、これにより背圧がポンプ停止中の弁開放力を下回り、弁の開操作が可能となることを確認した。

(H16.8.9 17時12分)

	最大背圧 (MPa)	主蒸気圧力 (MPa)	補助給水配管 圧力損失 (MPa)	静水頭 (MPa)	静水頭(蒸気) (MPa)
B弁	約 7.22	6.968	0.0015	0.252	0.0055

(注：数値はタービン動補助給水ポンプ停止直後の運転パラメータを用いて算出している)

3. 推定原因

(別紙 - 5)

事故当時にB弁が開動作したのは、弁シートリークにより、弁出口側に閉じ込められるはずの背圧が弁入口側へ逃げたことから、B弁の背圧がポンプ停止中の弁開放力を下回ったためと推定される。

以 上

別紙 - 1：B補助給水流量制御弁の開動作に係る要因分析図

- 2：シート部拡大観察結果

- 3：グランド部内面観察結果

- 4 (1/4～3/4)：アナウンスメント出力

(4/4)：手動操作器出力信号と弁開度の確認結果

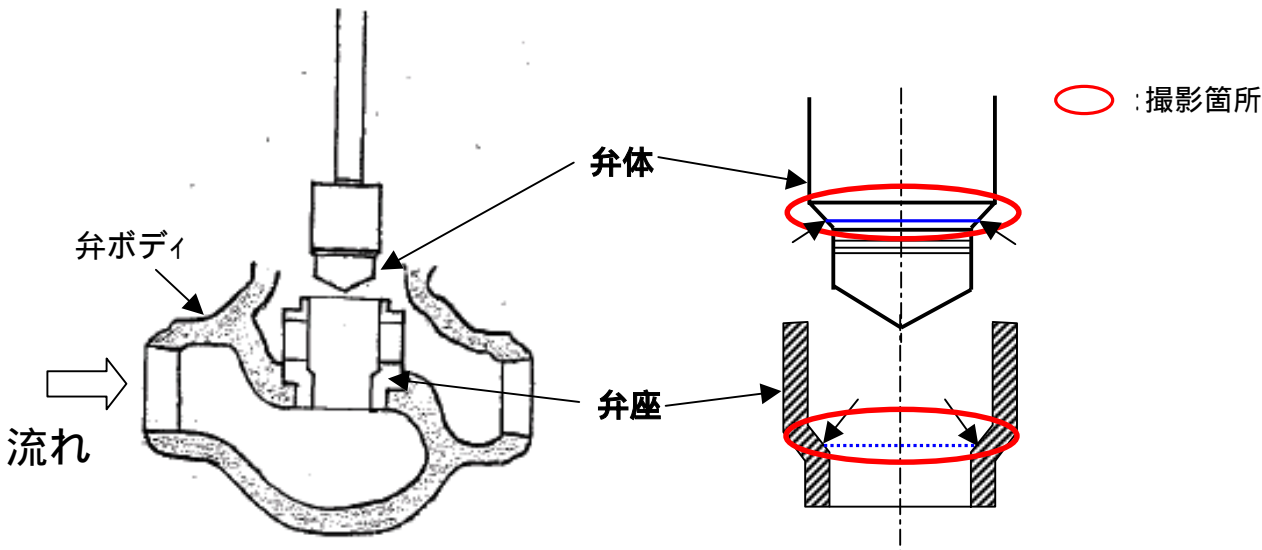
- 5：B弁の開動作推定メカニズム

B補助給水流量制御弁の開動作に係る要因分析図

凡例 ×:問題なし、 :可能性は否定できない、○:問題あり



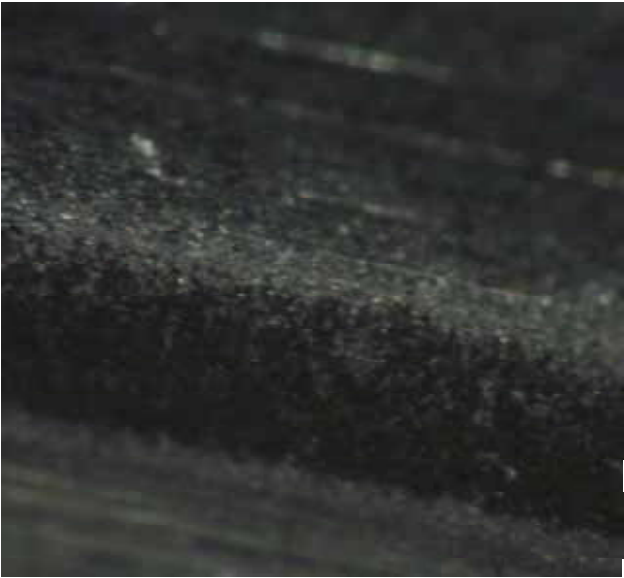
シート部拡大観察結果
B弁(3HCV - 3121)



弁体
拡大 × 170

シート当たり部

弁体シート当たり部拡大し観察したところ肌荒れが確認された。



0° 方向

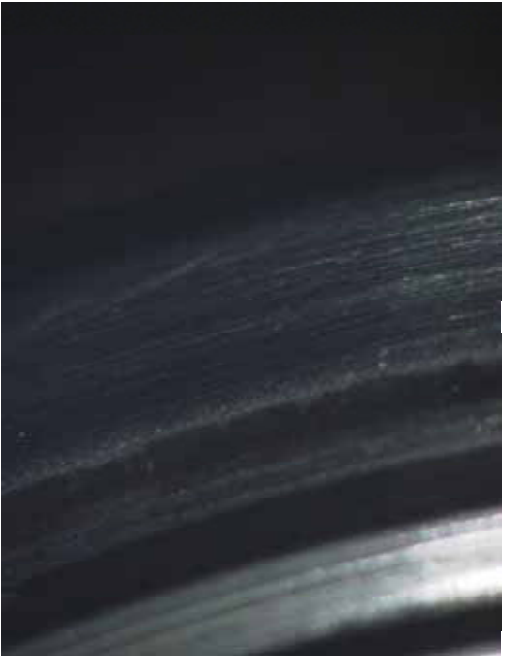
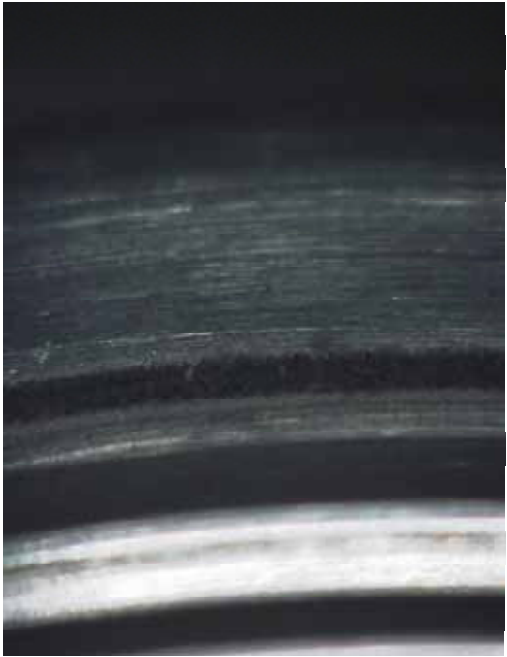
90° 方向

180° 方向

270° 方向

弁体
拡大 × 40

シート当たり部

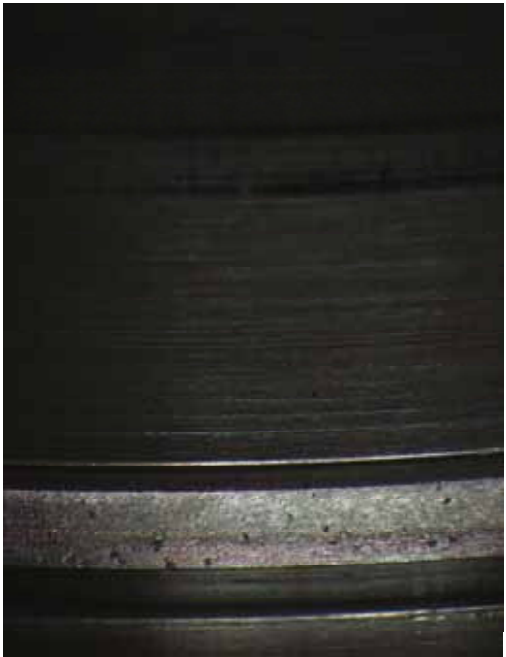


弁座
拡大 × 40

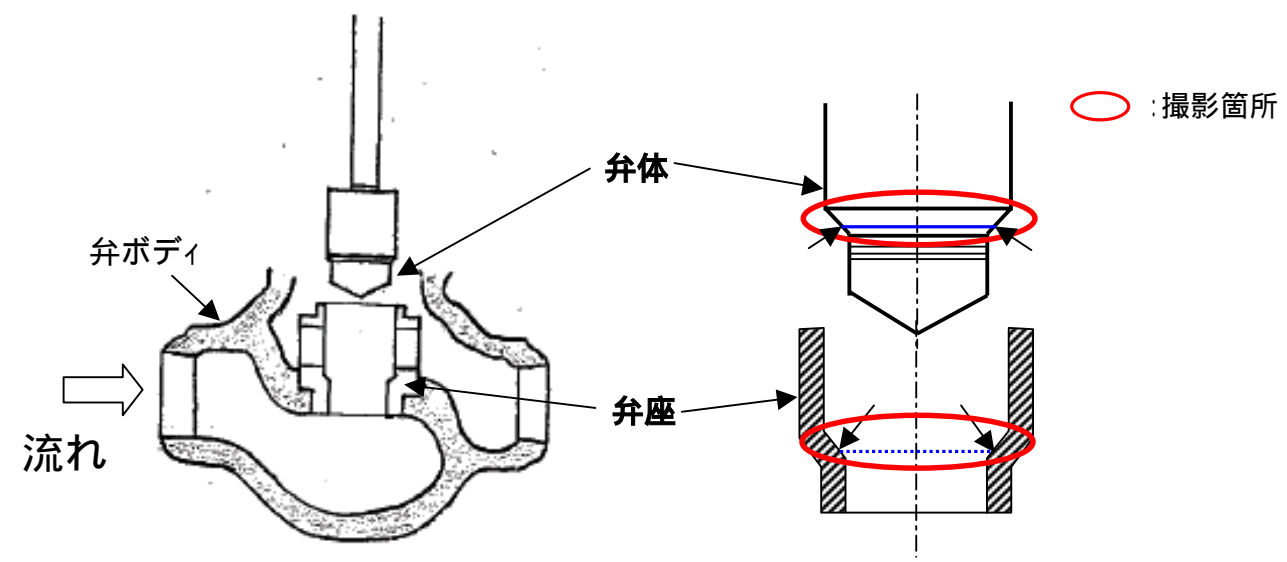
シート当たり部

○ シート当たり部はA、C弁に比べ広がった。
また、ピット状のくぼみが認められた。
これらが初期のシートリーク性に影響していた可能性は否定できない。

1mm



シート部拡大観察結果
A弁(3HCV - 3120)



0° 方向

90° 方向

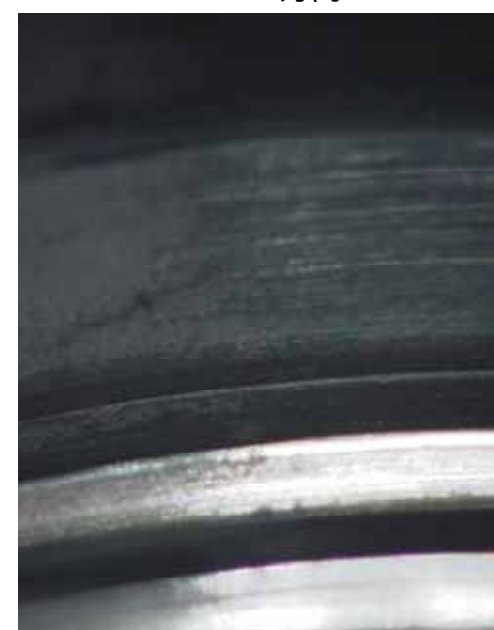
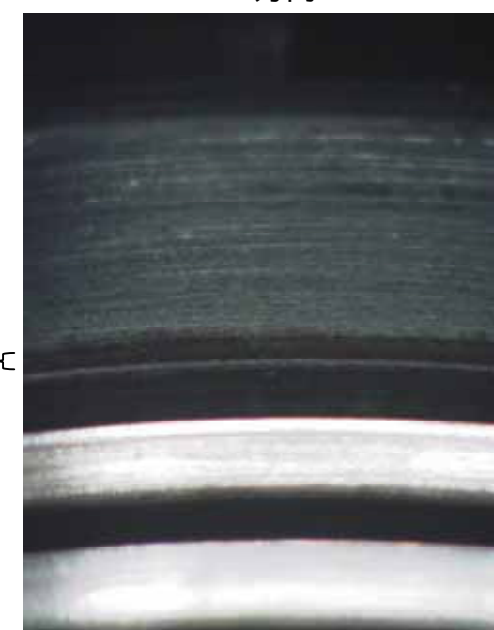
180° 方向

270° 方向

弁体
拡大 × 40

シート当たり部へ

○ シート当たり部に顕著な肌荒れは認められなかった。

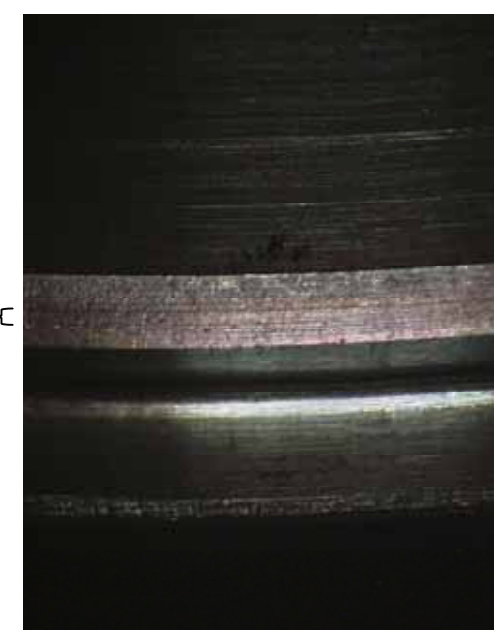


弁座
拡大 × 40

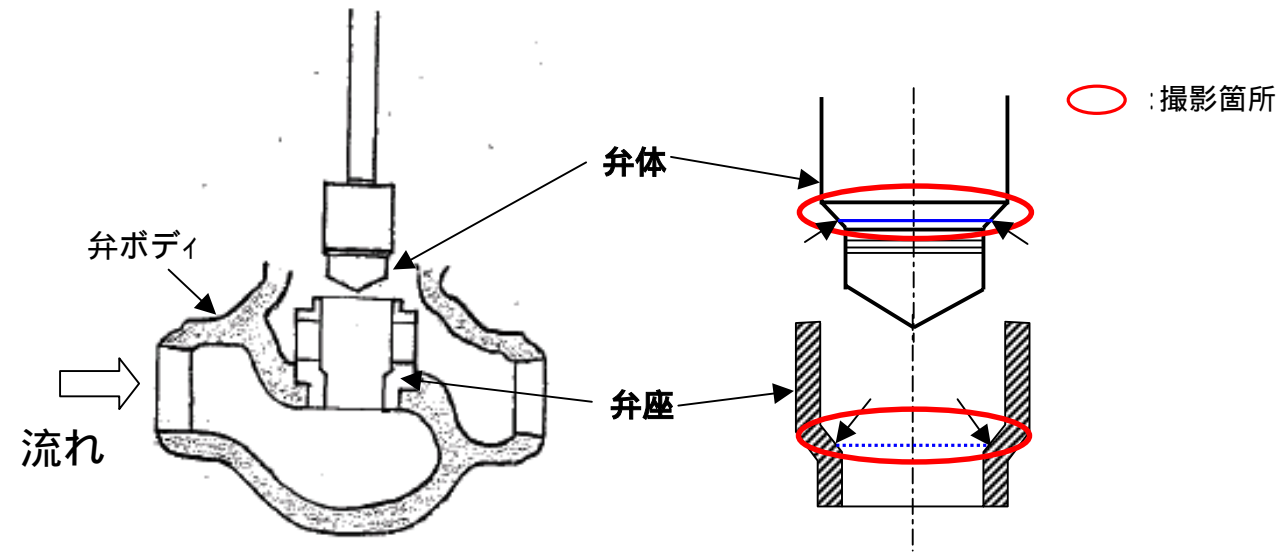
シート当たり部へ

○ シート当たり部に顕著な肌荒れは認められなかった。

1mm



シート部拡大観察結果
C弁(3HCV - 3122)



0 ° 方向

90 ° 方向

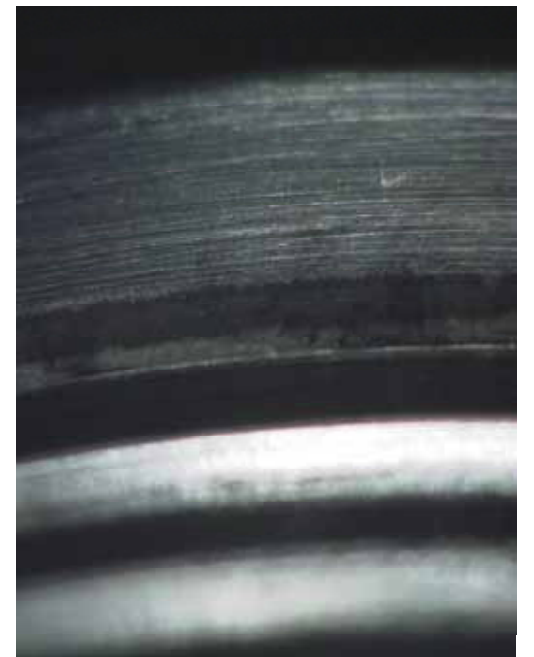
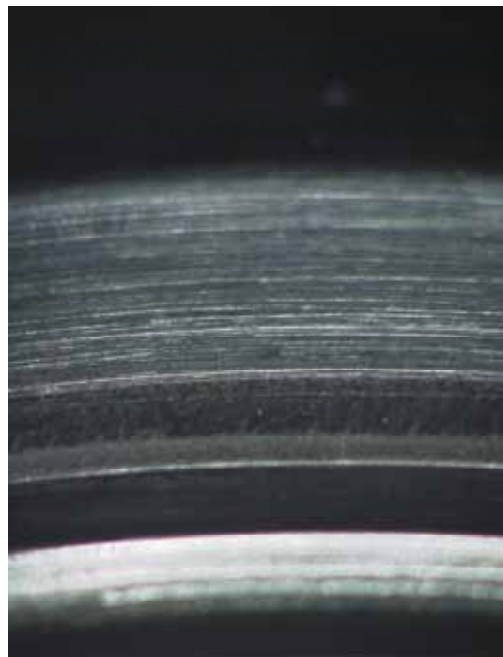
180 ° 方向

270 ° 方向

弁体
拡大 × 40

シート当たり部 {

○シート当たり部に顕著な肌荒れは認められなかった。



弁座
拡大 × 40

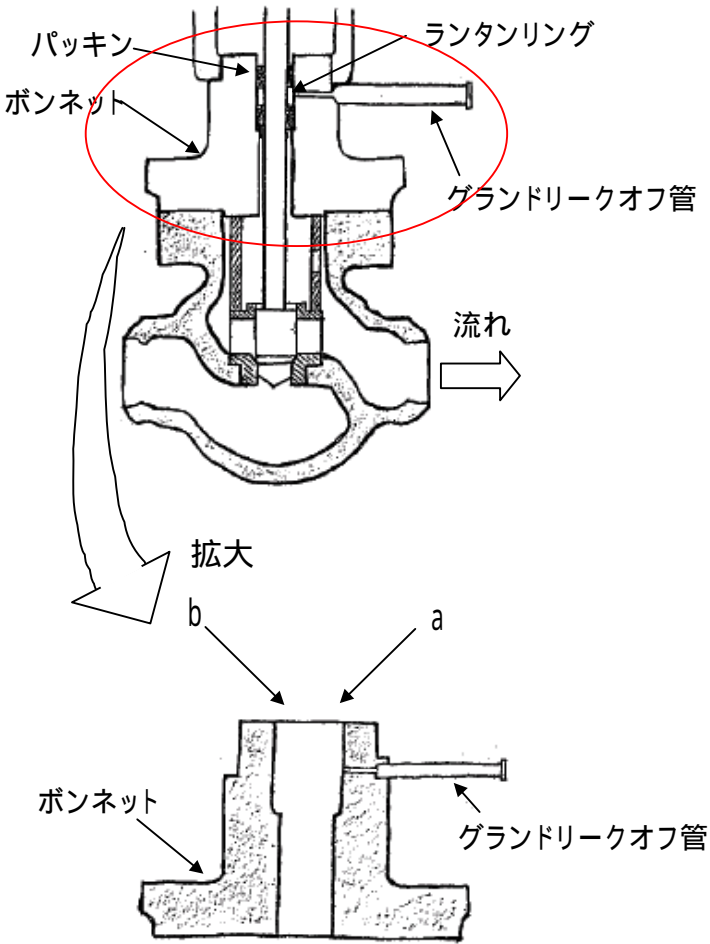
シート当たり部 {

○きれいであり、肌荒れは認められなかった。



1mm

グランド部内面観察結果



項目	A弁(3HCV - 3120)	B弁(3HCV - 3121)	C弁(3HCV - 3122)
ボンネット部 内面観察結果	 内面全体に錆が確認された	 内面全体に錆が確認された	 内面の一部に錆が確認された
a 方向より見る			
b 方向より見る	 内面全体に錆が確認された	 内面全体に錆が確認された	 内面の一部に錆が確認された
グランドリーク オフ管 内面観察結果	水の溜まりは認められなかった。 内面に錆は認められなかった。	水の溜まりは認められなかった。 内面に錆は認められなかった。	プラグ取り外し時に、数cc程度の水の滴 下が認められた。 なお、内面には水の溜りや錆は認められ なかった。

美浜3号機

アナウンスメント出力 (04/08/09分データ)

[アラーム状態] [設定値] [実バ・ラメータ]

08/09 15:32:24	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度
08/09 15:32:24	D スクリーン水位差	
08/09 15:32:25	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度
08/09 15:32:25	A 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:26	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度
08/09 15:32:27	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:27	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:28	B 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:28	C 主給水ブースタポンプ入口給水温度	
08/09 15:32:29	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁
08/09 15:32:30	充てん流量	
08/09 15:32:35	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:36	C 冷却材低温側温度 (狭域)	
08/09 15:32:36	C 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:36	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:38	復水流量 (A)	
08/09 15:32:39	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:39	加圧器温度変化率	
08/09 15:32:39	加圧器温度変化率	
08/09 15:32:40	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:40	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:40	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:41	復水流量 (A)	
08/09 15:32:41	D スクリーン水位差	
08/09 15:32:41	2 B 湿分分離加熱器出口蒸気温度変化率	
08/09 15:32:42	充てん流量	
08/09 15:32:43	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:43	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:44	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:44	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:44	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:45	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:46	復水流量 (A)	
08/09 15:32:46	復水流量 (A)	
08/09 15:32:46	A - RCP フレーム振動 (Y 方向)	
08/09 15:32:47	復水流量 (A)	
08/09 15:32:48	復水流量 (A)	
08/09 15:32:49	復水流量 (A)	
08/09 15:32:49	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:51	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:51	高圧第6 A 給水加熱器ドレン温度	
08/09 15:32:51	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:52	再生クーラ出口給水温度	
08/09 15:32:52	A 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:53	A 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:53	B 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:53	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	
08/09 15:32:53	B 補助給水流量制御器出力	
08/09 15:32:55	復水流量 (A)	
08/09 15:32:55	B 主給水ブースタポンプ入口給水温度	
08/09 15:32:55	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	

A 弁閉止操作

B 弁閉止操作

T3301	高ブ	186.0	164.4 °C
T3301	低ブ	179.0	164.4 °C
L3705B	高ブ	250	254 mm
T3301	低ブ	179.0	187.2 °C
T3301	高ブ	186.0	187.2 °C
H3120	低ブ	50.0	49.4 %
T3301	高ブ	186.0	157.4 °C
T3301	低ブ	179.0	157.4 °C
T3301	低低ブ	161.0	157.4 °C
H3121	低ブ	50.0	48.8 %
T32036	低低ブ	155.0	154.9 °C
LCV3311L	全開		
LCV3311L	開		
F122	低ブ	22.00	21.65 m ³ / h
LCV3311L	全開		
T431D	低ブ	286.0	286.0 °C
H3122	低ブ	50.0	48.3 %
LCV3311L	開		
F3201A	高高ブ	1950	1847 t / h
LCV3311L	全開		
U0176	低低ブ	-9.0	-6.2 °C / h
U0176	低ブ	-8.0	-6.2 °C / h
T3301	低低ブ	161.0	181.7 °C
T3301	低ブ	179.0	181.7 °C
LCV3311L	開		
F3201A	高高ブ	1950	1999 t / h
L3705B	高ブ	250	232 mm
U6302	高高ブ	56.0	48.5 °C / h
F122	低ブ	22.00	22.74 m ³ / h
T3301	低ブ	179.0	135.1 °C
T3301	低低ブ	161.0	135.1 °C
T3301	低低ブ	161.0	183.6 °C
T3301	低ブ	179.0	183.6 °C
LCV3311L	全開		
LCV3311L	開		
F3201A	高高ブ	1950	1682 t / h
F3201A	高ブ	1770	1682 t / h
V419D	低ブ	6.0	5.2 μm
F3201A	高ブ	1770	1879 t / h
V419D	低ブ	6.0	8.6 μm
F3201A	高高ブ	1950	1999 t / h
LCV3311L	全開		
T3301	低ブ	179.0	99.7 °C
T3301	低低ブ	161.0	99.7 °C
LCV3311L	開		
T140	低ブ	123.0	123.0 °C
HCV3120L	全開		
H3120	低低ブ	0.0	0.0 %
H3121	低低ブ	0.0	0.0 %
LCV3311L	全開		
HCV3121L	全開		
F3201A	高高ブ	1950	1847 t / h
T32035	低低ブ	155.0	154.9 °C
LCV3311L	開		

手動操作器出力

アナウンスメント出力 (弁閉止操作)

別紙 - 4
(1 / 4)

美浜3号機

アナウンスメント出力 (04/08/09分データ)

[アラーム状態] [設定値] [実バ・ラメータ]

08/09 15:32:56	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1745 t / h
08/09 15:32:56	C 冷却材低温側温度 CH 2	T430	高ブ	289.0	286.0 °C
08/09 15:32:56	C 冷却材低温側温度 CH 2	T430	低ブ	286.0	286.0 °C
08/09 15:32:57	C 補助給水流量制御器出力	H3122	低低ブ	0.0	0.0 %
08/09 15:32:57	C 補助給水流量制御弁	HCV3122L	全閉		
08/09 15:32:58	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1999 t / h
08/09 15:32:58	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1999 t / h
08/09 15:32:58	高圧第6A給水加熱器ドレン温度	T3301	低低ブ	161.0	180.9 °C
08/09 15:32:59	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1812 t / h
08/09 15:33:00	#4軸振動	X3502A4	低ブ	0.0100	0.0100 mm
08/09 15:33:00	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1673 t / h
08/09 15:33:00	A-RCPフレーム振動 (Y方向)	V419D	低ブ	6.0	5.2 μm
08/09 15:33:00	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	全閉		
08/09 15:33:01	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1851 t / h
08/09 15:33:01	A-RCPフレーム振動 (X方向)	V419C	高ブ	20.0	20.2 μm
08/09 15:33:01	A-RCPフレーム振動 (Y方向)	V419D	低ブ	6.0	9.5 μm
08/09 15:33:01	1次冷却材飽和温度偏差	U0911	低低ブ	2.1	2.2 °C
08/09 15:33:03	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1999 t / h
08/09 15:33:03	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	開		
08/09 15:33:03	1次冷却材飽和温度偏差	U0911	低低ブ	2.1	2.0 °C
08/09 15:33:04	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1746 t / h
08/09 15:33:04	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1746 t / h
08/09 15:33:05	格納容器入口エリアモニタ	R2	低ブ	2.50E+00	2.50E+00 μSv / h
08/09 15:33:06	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	全閉		
08/09 15:33:07	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1999 t / h
08/09 15:33:07	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1999 t / h
08/09 15:33:07	充てん流量	F122	低ブ	22.00	22.00 m3 / h
08/09 15:33:08	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1661 t / h
08/09 15:33:08	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1661 t / h
08/09 15:33:08	充てん流量	F122	低ブ	22.00	22.58 m3 / h
08/09 15:33:09	B冷却材低温側温度 CH 2	T420	高ブ	289.0	286.0 °C
08/09 15:33:09	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T420	低ブ	286.0	286.0 °C
08/09 15:33:09	高圧第6A給水加熱器ドレン温度	LCV3311L	開		
08/09 15:33:10	復水流量 (A)	T3301	低低ブ	161.0	97.9 °C
08/09 15:33:11	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1999 t / h
08/09 15:33:11	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1999 t / h
08/09 15:33:11	スラスト軸受メタル温度 (後-A-2)	T3605	低ブ	53.0	52.9 °C
08/09 15:33:11	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	全閉		
08/09 15:33:11	2B湿分分離加熱器出口蒸気温度変化率	U6302	高ブ	28.0	17.0 °C / h
08/09 15:33:13	加圧器圧力 P-11 以下 CH 8	PB457B	復帰		
08/09 15:33:14	1次冷却材飽和温度偏差	U0911	低低ブ	2.1	2.1 °C
08/09 15:33:14	A主給水ブースタポンプ入口給水温度	T32034	低低ブ	153.0	152.8 °C
08/09 15:33:14	復水流量 (A)	F3201A	高高ブ	1950	1880 t / h
08/09 15:33:14	充てん流量	F122	低ブ	22.00	21.97 m3 / h
08/09 15:33:14	#3軸振動	X3502A3	高ブ	0.0270	0.0225 mm
08/09 15:33:15	充てん流量	F122	低ブ	22.00	22.81 m3 / h
08/09 15:33:15	発電機密封油圧力 (水素側)	P3597A	低ブ	485.0	484.7 kPa
08/09 15:33:15	A-RCPフレーム振動 (X方向)	V419C	高ブ	20.0	17.5 μm
08/09 15:33:15	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	開		
08/09 15:33:16	工安設備ラインナップ注意	(VFW563AH)	M/D AFW [現状] 閉	[正常状態] 全開	
08/09 15:33:16	工安設備ラインナップ注意	(VFW563CH)	M/D AFW [現状] 閉	[正常状態] 全開	
08/09 15:33:16	復水流量 (A)	F3201A	高ブ	1770	1645 t / h
08/09 15:33:16	加圧器圧力 P-11 以下 CH 2	PB456B	復帰		
08/09 15:33:16	A補助給水ライン電動弁	VFW563AH	閉		

手動操作器出力

アナウンスメント出力 (弁閉止操作)

英紙3号機

アナウンスメント出力 (04/08/09分データ)

[アラーム状態] [設定値] [実パラメータ]

08/09 17:12:03	充てん・抽出アンバランス流量		U0198	高高プ	2.3	2.8 m ³ /h	○
08/09 17:12:12		Dスクリーン水位差	L3705B	高プ	250	232 mm	●
08/09 17:12:14	中性子源領域起動率CH1		N37A	高プ	0.60	0.99 dpm	○
08/09 17:12:15		中性子源領域起動率CH1	N37A	高プ	0.60	-0.08 dpm	○
08/09 17:12:22	Dスクリーン水位差		L3705B	高プ	250	250 mm	●
08/09 17:12:28		Dスクリーン水位差	L3705B	高プ	250	228 mm	○
08/09 17:12:31	A-RCPフレーム振動(Y方向)		V419D	低プ	6.0	5.8 μm	○
08/09 17:12:32		Bタービン動補給水ポンプ起動弁	VAS0158H	閉			○
08/09 17:12:33	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.73 dpm	○
08/09 17:12:34		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.24 dpm	○
08/09 17:12:38	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.63 dpm	○
08/09 17:12:39		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.36 dpm	○
08/09 17:12:41	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.63 dpm	○
08/09 17:12:42		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.02 dpm	○
08/09 17:12:43		A-RCPフレーム振動(Y方向)	V419D	低プ	6.0	8.7 μm	○
08/09 17:12:43	中性子源領域起動率CH1		N37A	高プ	0.60	0.74 dpm	○
08/09 17:12:44		中性子源領域起動率CH1	N37A	高プ	0.60	0.44 dpm	○
08/09 17:12:56	A-RCPフレーム振動(Y方向)		V419D	低プ	6.0	5.9 μm	○
08/09 17:12:58	充てんポンプ弁操作室エリアモニタ		R4	低プ	4.50E+00	4.49E+00 μSv/h	○
08/09 17:13:01		A-RCPフレーム振動(Y方向)	V419D	低プ	6.0	8.7 μm	○
08/09 17:13:24		A補助給水流量制御器出力	H3120	低低プ	0.0	3.3 %	○
08/09 17:13:29	高圧車室上部メタル温度		T32019A	低プ	242.0	241.9 °C	○
08/09 17:13:33	A-RCPフレーム振動(Y方向)		V419D	低プ	6.0	5.6 μm	○
08/09 17:13:35		B補助給水流量制御器出力	H3121	低低プ	0.0	1.5 %	○
08/09 17:13:38		C補助給水流量制御器出力	H3122	低低プ	0.0	4.8 %	○
08/09 17:13:40		A補助給水流量制御器出力	H3120	低プ	50.0	53.6 %	○
08/09 17:13:40	中性子源領域起動率CH1		N37A	高プ	0.60	0.89 dpm	○
08/09 17:13:41	A補助給水流量制御器出力		H3120	高プ	58.0	58.5 %	○
08/09 17:13:41		中性子源領域起動率CH1	N37A	高プ	0.60	0.00 dpm	○
08/09 17:13:42		A補助給水流量制御器出力	H3120	高プ	58.0	56.9 %	○
08/09 17:13:43		充てん・抽出アンバランス流量	U0198	高高プ	2.3	2.2 m ³ /h	○
08/09 17:13:44		B補助給水流量制御器出力	H3121	低プ	50.0	55.3 %	○
08/09 17:13:44		A-RCPフレーム振動(Y方向)	V419D	低プ	6.0	9.1 μm	○
08/09 17:13:47	充てん・抽出アンバランス流量		U0198	高高プ	2.3	3.1 m ³ /h	○
08/09 17:13:50	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.62 dpm	○
08/09 17:13:51		C補助給水流量制御器出力	H3122	低プ	50.0	51.9 %	○
08/09 17:13:51		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.23 dpm	○
08/09 17:13:55	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.63 dpm	○
08/09 17:13:56		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.36 dpm	○
08/09 17:13:58	A高感度型主蒸気管モニタ(L)		R65B	低プ	2.00E+01	2.00E+01 nSv/h	○
08/09 17:13:59	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.70 dpm	○
08/09 17:14:00		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.50 dpm	○
08/09 17:14:07	中性子源領域起動率CH2		N37C	高プ	0.60	0.76 dpm	○
08/09 17:14:08		A高感度型主蒸気管モニタ(L)	R65B	低プ	2.00E+01	2.13E+01 nSv/h	○
08/09 17:14:08		中性子源領域起動率CH2	N37C	高プ	0.60	-0.50 dpm	○
08/09 17:14:15	B補助給水流量		F3124	高プ	34.0	34.2 m ³ /h	○
08/09 17:14:15	B補助給水流量制御弁		HCV3121L	開			○
08/09 17:14:16	体積制御タンクベント弁		V8101L	開			○
08/09 17:14:18		体積制御タンクベント弁	V8101L	全開			○
08/09 17:14:21	体積制御タンクベント弁		V8101L	開			○
08/09 17:14:26		体積制御タンクベント弁	V8101L	全開			○
08/09 17:14:34	体積制御タンクベント弁		V8101L	開			○
08/09 17:14:41	第1段後蒸気温度変化率		U6300	低プ	-7.5	-7.5 °C/h	○
08/09 17:14:42		体積制御タンクベント弁	V8101L	全開			○

手動操作器出力*

A 弁開操作

B 弁開操作

C 弁開操作

* : 当直員の開操作により、制御器出力信号が低低プレアラーム状態を復帰したことを示す。
プラント計算機のデータ収集周期及び各操作器の操作スピードにより制御器出値に差が発生した。
(プラント計算機データ収集周期: 1秒)

手動操作器出力信号と弁開度の確認試験結果

【 確認対象 : B補助給水流量制御弁 】

【 試験方法 】

弁制御信号系統については、アナウンスメントタイプライタが「0.0%」を印字するための手動操作器出力を確認したところ、最大で「0.06%」であった。

このことから、手動操作器出力を「0.06%」開度信号として入力した際のB弁ダイヤフラム圧力を確認する。

3FHC - 3121			プラント計算機		I / P変換器入力		I / P変換器出力	ダイヤフラム圧力	3HCV - 3121
手動操作器出力									
手動操作器指示値 (弁開度要求信号)	出力値		内部演算値	指示値					弁開度
[%] ()内は出力電流値 より換算した値	[mA] ()内は 計測値	[V]	[カウント] ()内は 計測値	[%] ()内は 指示結果	[mA]	[mV] ()内は 計測値	[kPa] ()内は 計測値	[MPa] ()内は 計測値	[%] ()内は 計測値
100.0	4.00	1.0000	400	100.0	4.00	100.00	20.00	-	-
75.0	8.00	2.0000	800	75.0	8.00	200.00	40.00	-	-
50.0	12.00	3.0000	1,200	50.0	12.00	300.00	60.00	-	-
25.0	16.00	4.0000	1,600	25.0	16.00	400.00	80.00	-	-
0.0 (0.0625)	19.99 (19.9900)	4.9975	1,999 (1,999)	0.1 (0.1)	19.99	499.75 (500.3)	99.94 (99.835)	(0.40)	(0)
0.0 (0.0600)	19.99 (19.9904)	4.9976	2,000 (2,000)	0.0 (0.0)	19.99	499.76 (500.3)	99.95 (99.835)	(0.40)	(0)
0.0	20.00	5.0000	2,000	0.0	20.00	500.00	100.00	-	-

【 確認結果 】

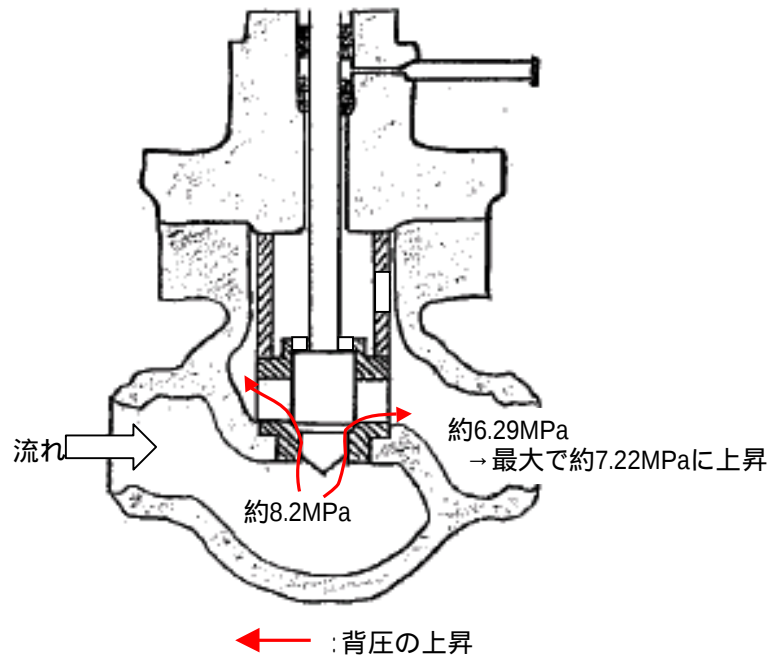
・手動操作器出力 19.9904mA (弁開度0.06%相当)を印加し、ダイヤフラム圧力及び弁開度を
確認した結果ダイヤフラム圧力は弁全閉圧力(設計値)の0.38MPaを上回る0.40MPaであり、
また、弁開度は0% (全閉状態)であった。

【 補足説明 】

・プラント計算機印字0～100%は、計算機の内部演算
(400～2,000カウント)の結果による。
・計算機の内部演算値1カウントの重みは、0.0625%
(電圧値に換算すると0.0025V)である。
・2,000カウントから1カウントダウン(1,999カウント)すれ
ば、プラント計算機出力は0.1%と印字する。

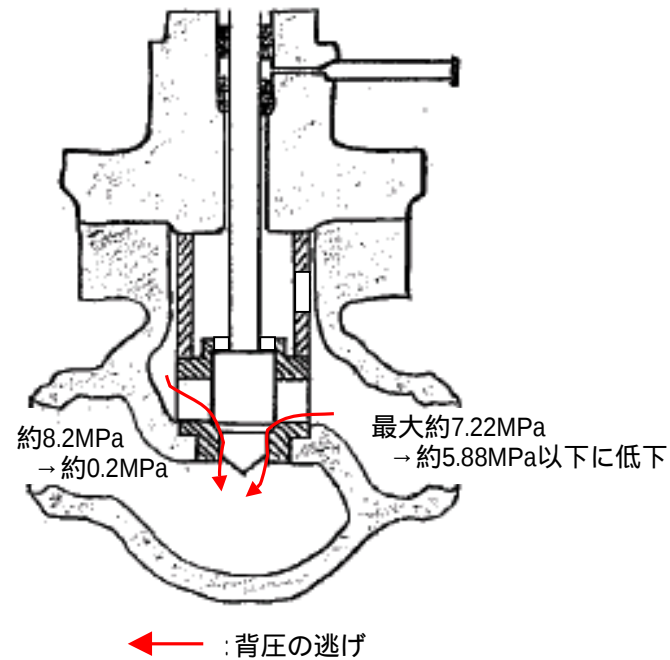
B弁の開動作推定メカニズム

タービン動補助給水ポンプ運転中
(ポンプ停止直前)



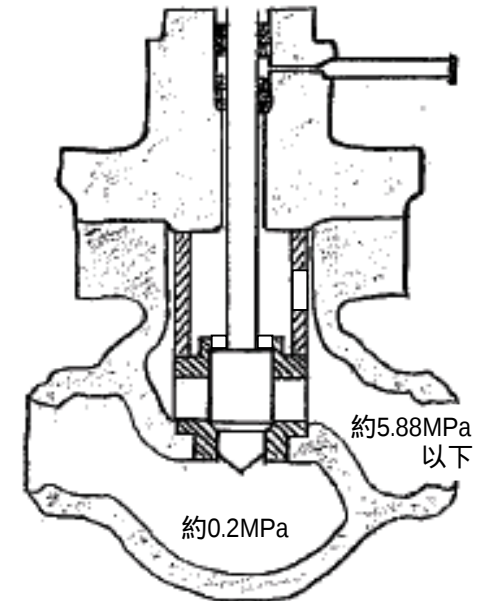
弁閉止後もシート部からタービン動補助給水ポンプの吐出圧力(約8.2MPa)が弁出口側へ加わり、背圧が最大で7.22MPaまで上昇した。

タービン動補助給水ポンプ停止時
(17:12)



タービン動補助給水ポンプ停止時に弁入口側の圧力低下とともに背圧となる系統水が逃げた。

弁開放操作時
(17:13)



背圧が弁の開放力(5.88MPa)を下回っていた為開動作した。