

初動対応、関係機関への連絡、被災者の救出に係る対応（時系列）

平成 16 年 8 月 9 日

15 時 22 分 「火災報知器動作」警報等発信。ただちに運転員が「タービン建屋火災発生」の一斉放送を実施。

15 時 27 分 運転員がタービン建屋 2 階のエレベータ前で被災者 1 名を発見。

15 時 30 分 所長室員が 119 番救急通報（第一報）。その後、暫時、救急車の追加要請。また、地元自治体（美浜町）に事故発生を連絡。

15 時 30 分 所長室員が一斉放送により、タービン建屋からの退避を指示。
～ 15 時 45 分

15 時 32 分 保安院美浜原子力保安検査官事務所に事故発生を連絡

15 時 34 分 地元自治体（福井県）に事故発生を連絡。

15 時 35 分 現地救出要員（発電所所員（協力会社社員も含む））が被災者の救出を開始。

15 時 58 分 救急隊員（消防車）到着。消防隊員と発電所所員が協力して被災者の救助活動を実施。

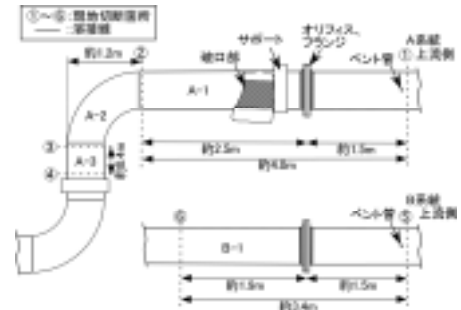
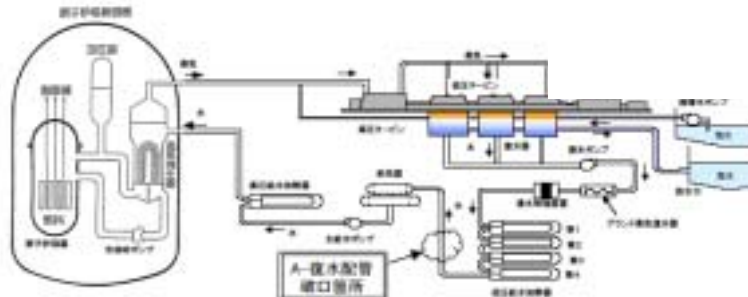
16 時 46 分 11 名の被災者すべての病院への搬送を完了。
（搬送先病院：市立敦賀病院 8 名、国立福井病院 3 名）

その後、現場への立ち入り制限を行いつつ、搜索・救助活動を継続。

19 時 00 分 タービン建屋内で他の負傷者なしを消防が確認。

美浜発電所3号機二次系配管の破損状況

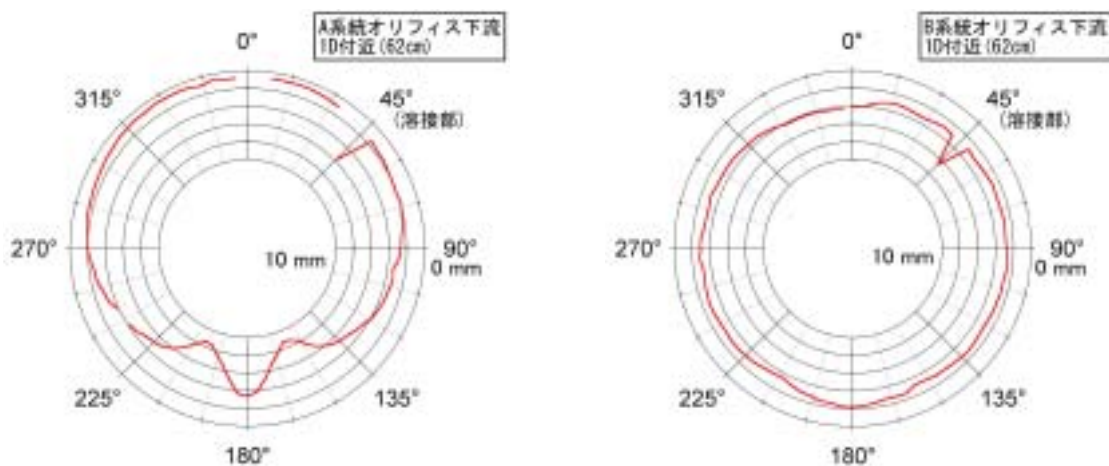
1. 調査の概要



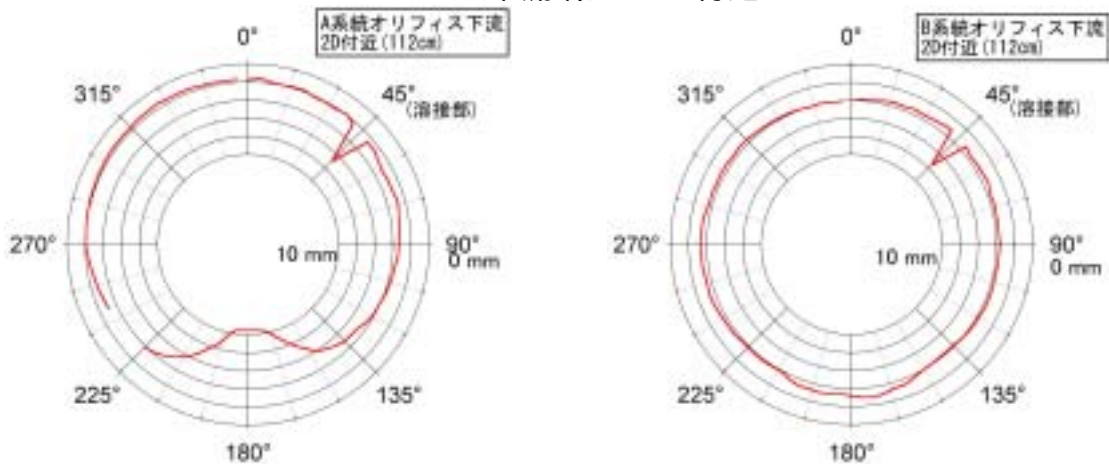
主要データ

- (1)オリフィス下流配管 材料 JIS G SB42、外径(以後、Dとする):約 560mm、初期肉厚:約 10mm
 (2)運転時流体条件 流量:約 1,700t/h、実使用圧力:約 0.93MPa、温度:142℃、流速:約 2.2m/s
 (3)運転時間 約 185,700 時間 (4)水質:pH:8.6~9.3、溶存酸素濃度:5ppb 未満

2. 配管肉厚測定結果



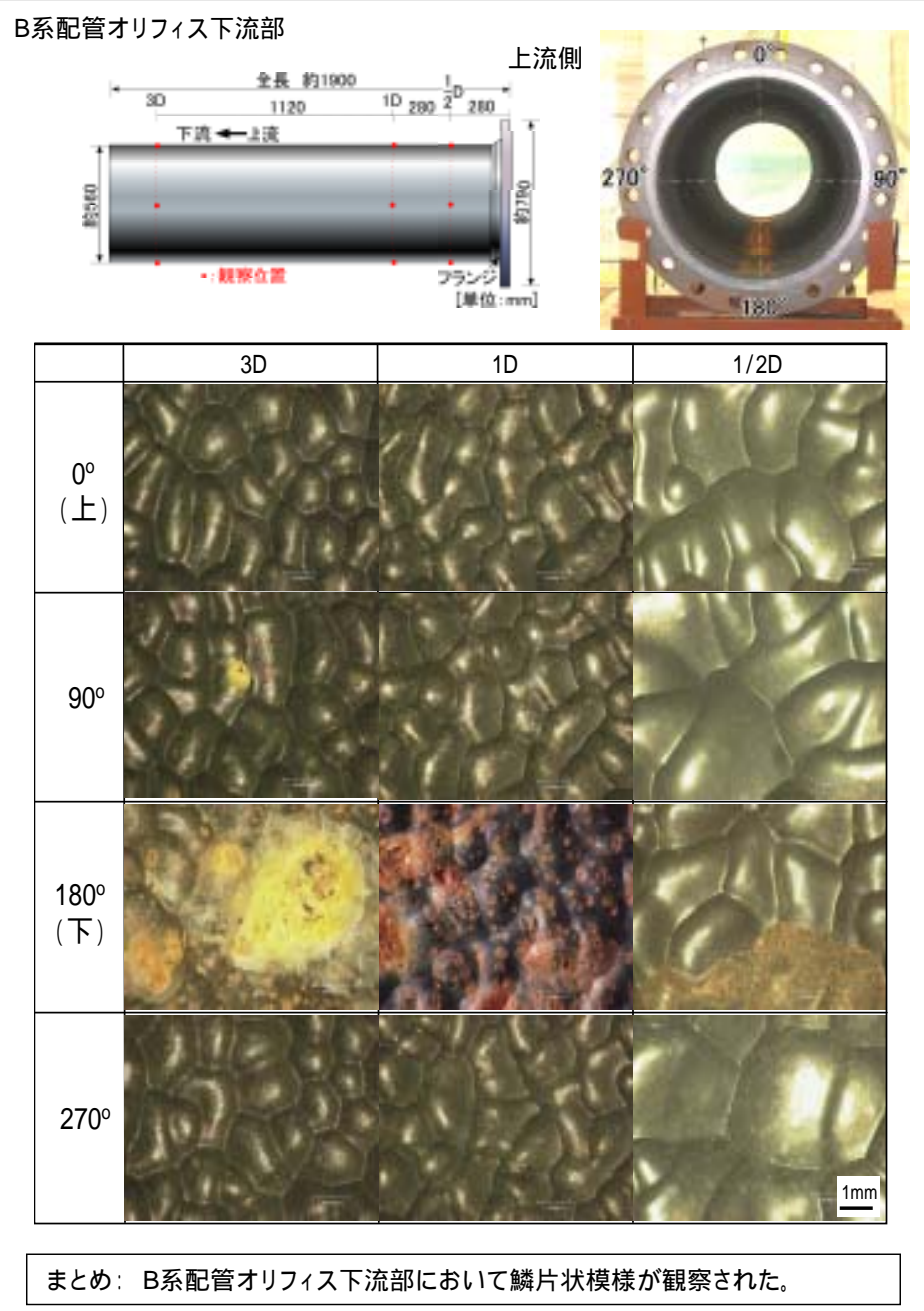
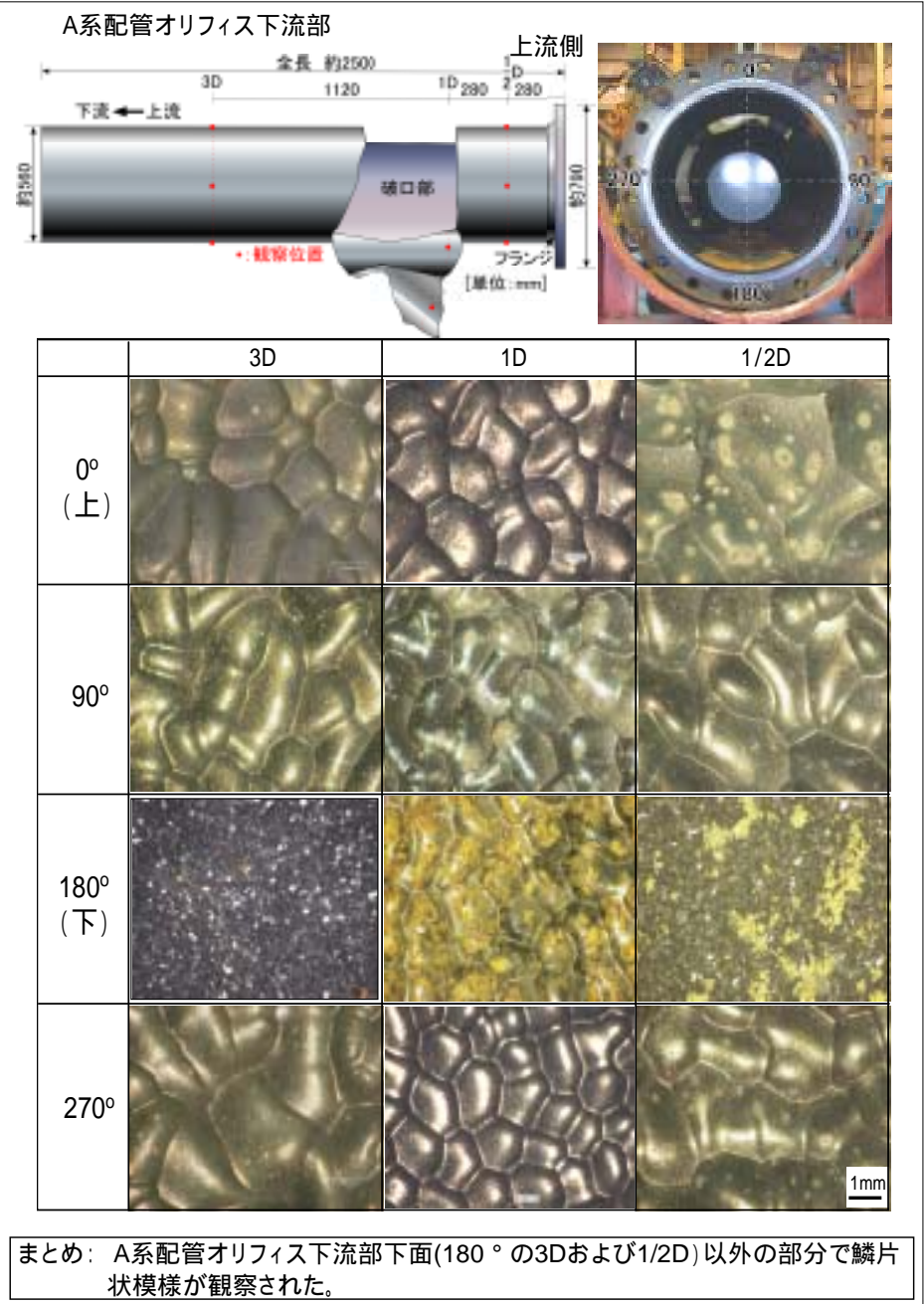
オリフィス下流端から 1D 付近



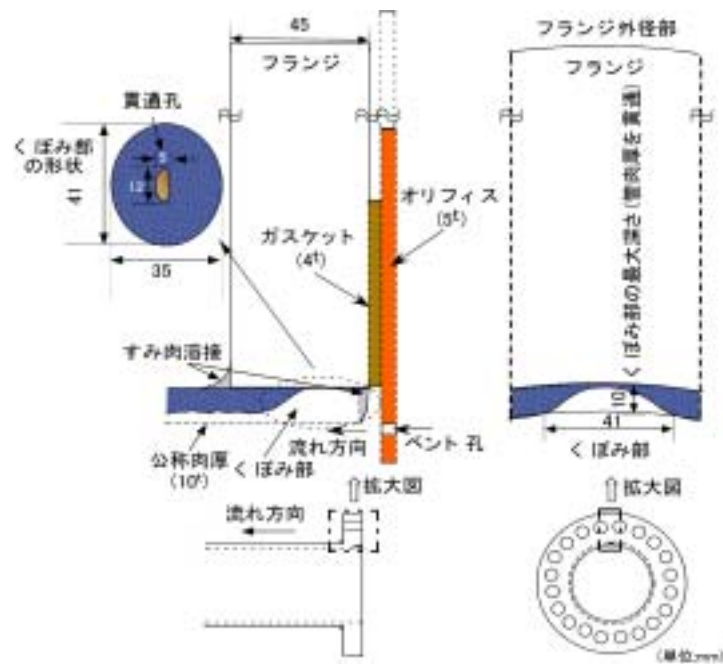
オリフィス下流端から 2D 付近

A 系配管オリフィス下流部の減肉状況 B 系配管オリフィス下流部の減肉状況

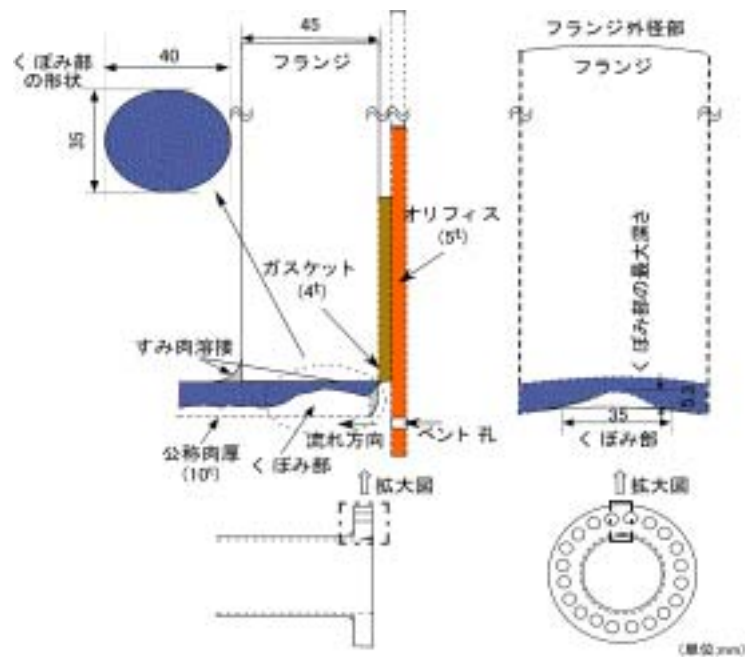
3. 配管内面観察結果



4. ベント孔下流の状況



A 系配管オリフィス下流側フランジ



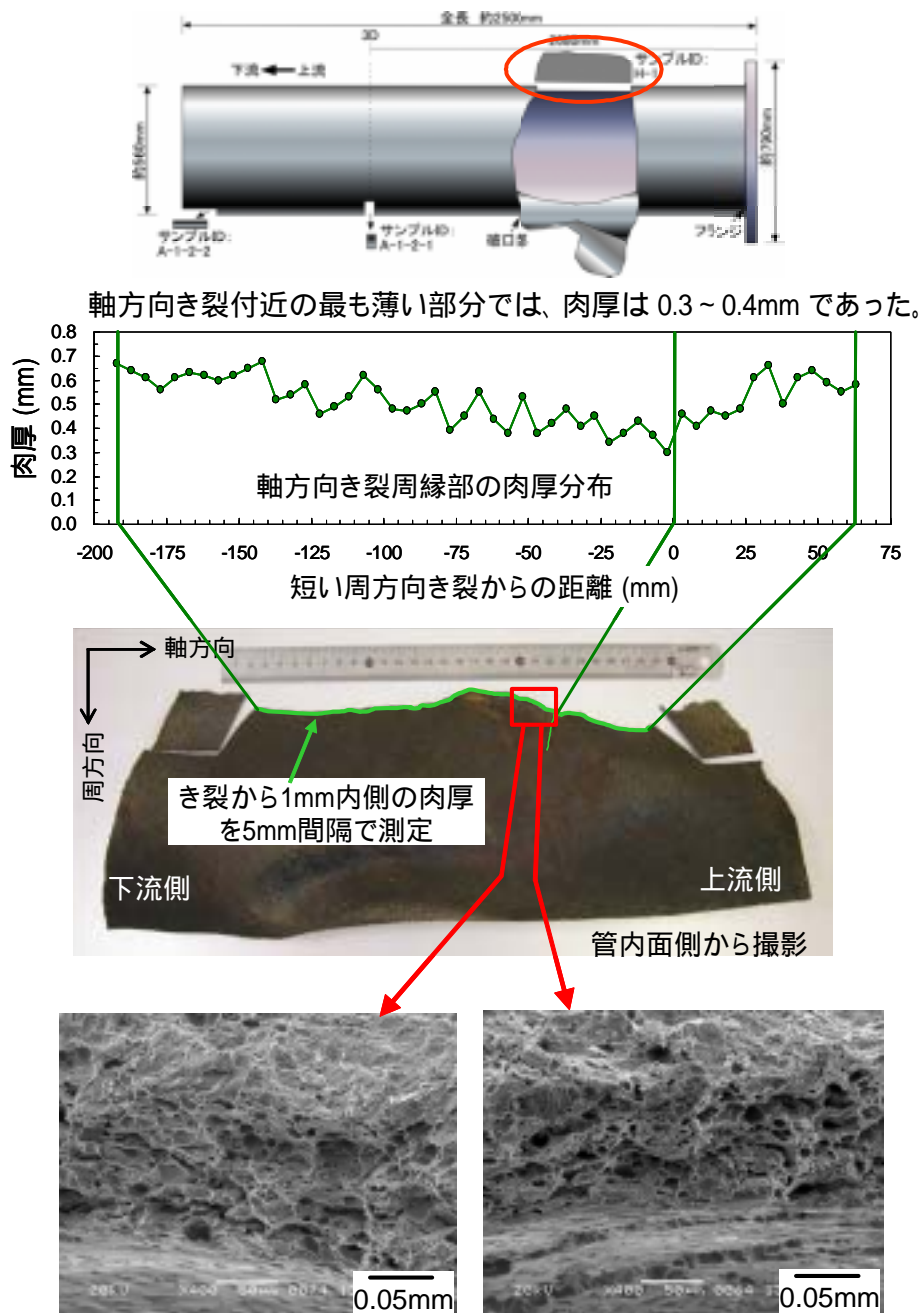
B 系配管オリフィス下流側フランジ

出典：1、2、3項は第7回事故調査委員会 資料7-1-1(別添1-1)
 及び4項は第5回事故調査委員会 資料5-1-2(別添1)
 (日本原子力研究所、原子力安全基盤機構からの提出資料)より抜粋

日本原子力研究所による金属調査結果

概要

破口部の破面について、最も薄い部位付近を中心として走査型電子顕微鏡(SEM)により観察を行った。いずれの SEM 写真においても、破面にはディンプル(延性破壊で破断した際に、破断面に生ずる小さなくぼみ)が形成されていた。また、破口部近傍の硬さは破口部以外の部分における硬さと比較して、破口部先端に向かって高い硬さを示す傾向があり、破損時に塑性変形が生じたと考えられる。これらより、破壊モードは延性破壊であることが確認された。



破面には延性破壊を表すディンプルが確認された。

図 1 破口部のき裂近傍における肉厚分布及び破面の状況

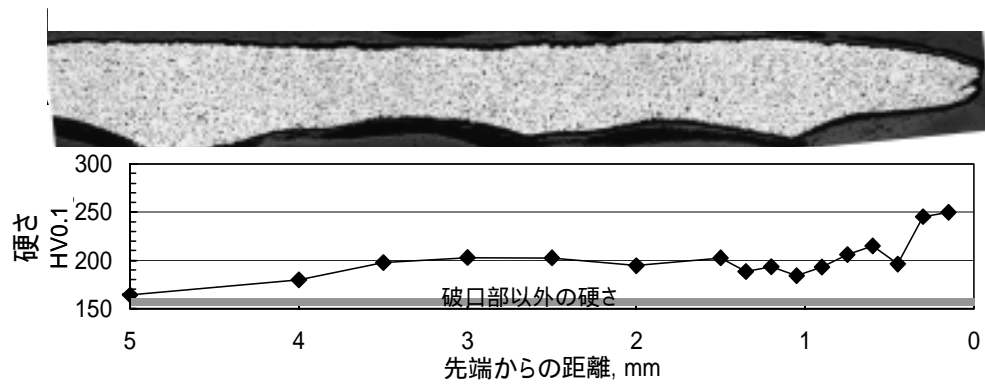


図2 破断部近傍の断面における硬さ分布

出典：第7回事故調査委員会 資料7 - 1 - 1 (別添1 - 1)
 (日本原子力研究所からの提出資料)より抜粋

(独) 原子力安全基盤機構及び日本原子力研究所による配管流況解析結果

概要

二次系配管のオリフィス前後の直管部分を対象に 3 次元乱流解析を実施し、壁面乱流エネルギーの最大値から換算した減肉量分布予測を実機での減肉測定値と比較したところ、オリフィス下流直後の急激な減肉傾向及び減肉が最大となる位置（オリフィスから下流側配管直径の約 1.2 倍：約 700mm）が計算で良く再現された。なお、減肉が最大となる位置から下流への減肉量の計算予測値は実測値よりも小さく、従って減肉範囲は過小評価となった。これは、壁面乱流エネルギー以外の減肉現象に関する他のパラメータの影響が有るためと考えられる。

A 系と B 系との間で見られた周方向の減肉傾向の相違を分析するために、配管全体を対象に 3 次元乱流解析を実施し、オリフィス入口流速分布は、A 系配管では上流側から見て反時計回りの強い旋回流が、B 系配管では上流側から見て時計回りの弱い旋回流が確認された。この差が A 系と B 系での周方向の配管減肉挙動の違いに影響を与えていると考えられる。この旋回流は主復水管ヘッドの分岐管に流入した流れが最初のエルボ - に到達するときが発生し、エルボ - の方向が 180 度異なるため、旋回流の向きが A 系と B 系とで反対になる。また、旋回の強さはエルボ - に流入してくる流れの偏心の度合いで決まるため、偏心の強い A 系の方が偏心の弱い B 系よりも旋回強さが大きい。

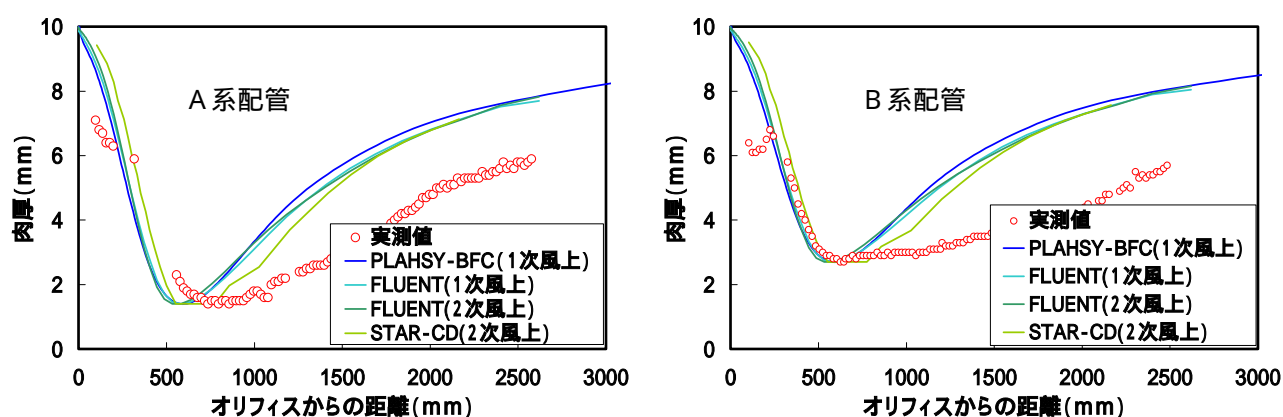


図 1 壁面乱流エネルギーから予測した減肉量と実測値の比較（上流から見て時計回り 270°）

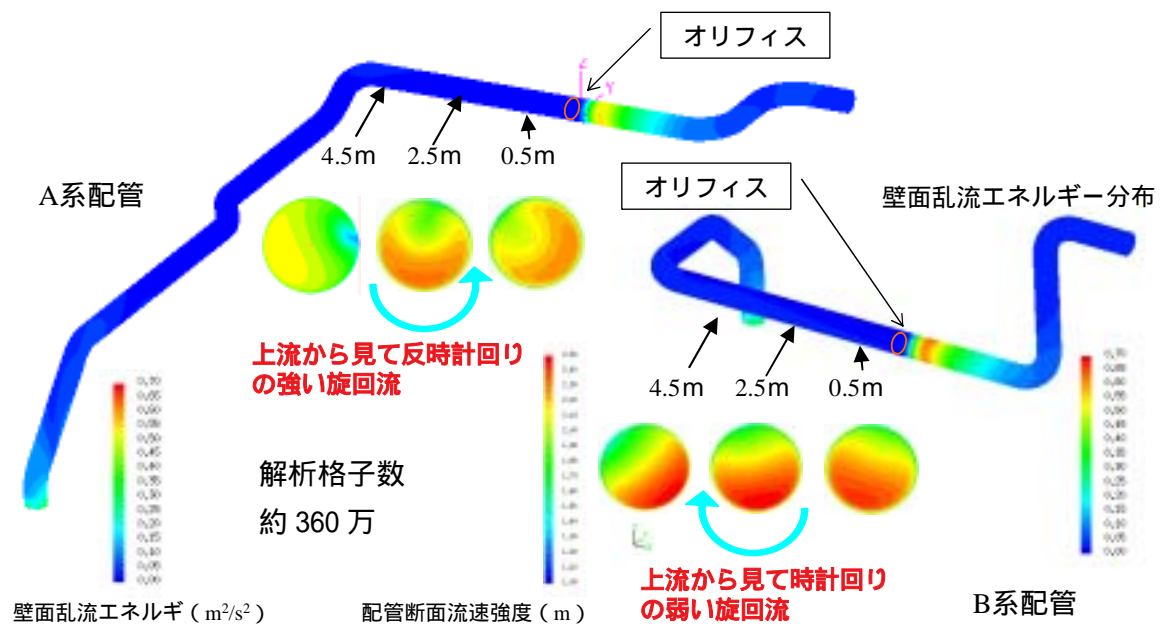


図2 実機配管形状を模擬した解析結果

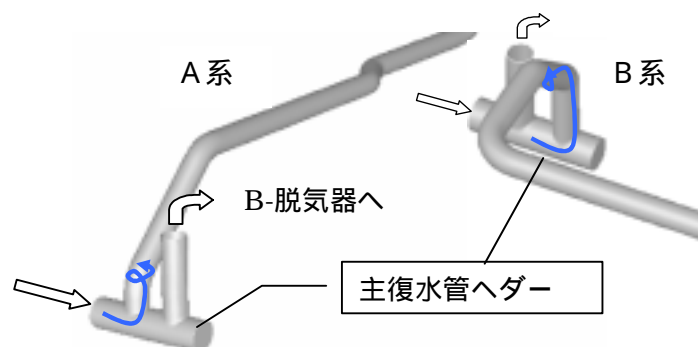


図3 配管内旋回流の発生メカニズム

出典：第7回事故調査委員会 資料7-1-1（別添2-1）
（日本原子力研究所、原子力安全基盤機構からの提出資料）より抜粋

日本原子力研究所による減肉挙動解析結果

概要

減肉量に関しては、PASCAL-ECにより、Kastnerらによる予測式を基に水単相流中におけるエロージョン・コロージョン(E/C)による炭素鋼配管の減肉量を算出した。下図に実機の水環境や材料データを用いた減肉挙動に関わる解析結果を示す。図中には、美浜3号機A系、B系配管の最大減肉量も合わせて表示した。ここで、初期肉厚を10mmと仮定して最大減肉量を算出し、肉厚に対する公差が0.7mmであることを考慮して、エラーバーを示した。実測されたA系、B系配管の最大減肉量は、下図に示すように、解析結果と比較してやや大きめであった。減肉量の予測精度に関する従来の知見を考慮すると、A系配管の減肉量は、予測のばらつきの範囲内であると考えられる。

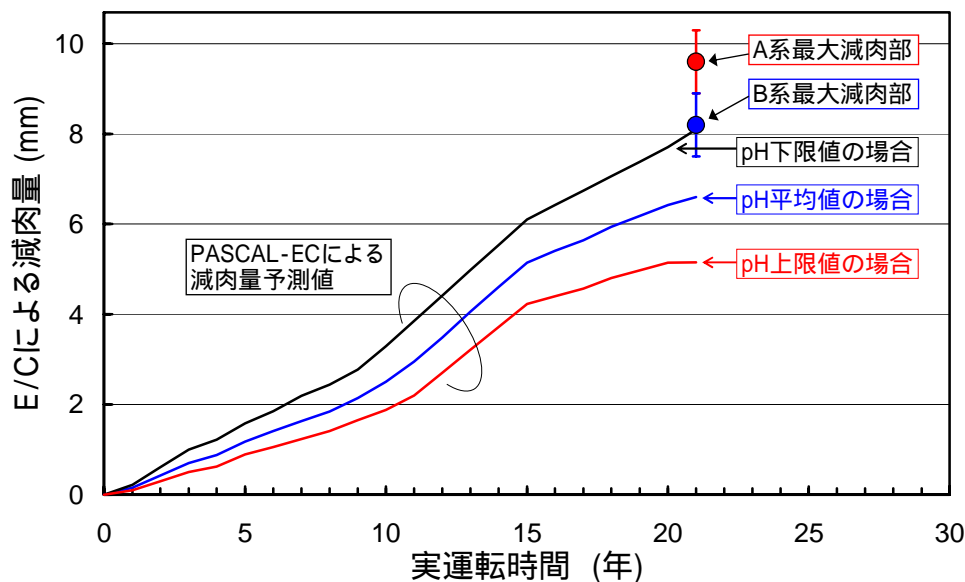


図1 実機の水環境データ等に基づく減肉進展の解析結果

解析条件：流速 = 2.2m/s、水温 = 146℃、Cr+Mo 含有量 = 0.01%

溶存酸素濃度；実機データ、pH 値；実機データの上限・平均・下限値

出典：第5回事故調査委員会 資料5 - 1 - 2(別添2)

(日本原子力研究所からの提出資料)より抜粋

(独)原子力安全基盤機構による配管破損挙動解析結果

概要

配管破口部の破損メカニズムを解明するため、非線形動的解析コード AUTODYN-3D を使用して、開口がどのように進展するか解析を行った。その結果、き裂発生後約 1/100 秒程度で亀裂は進展し最終形状となったと推定される。

青点：破口状況スケッチから読み取った破断位置

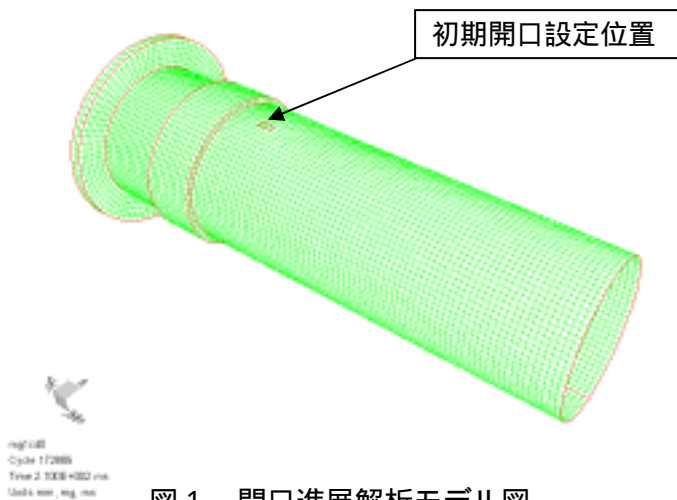


図 1 開口進展解析モデル図

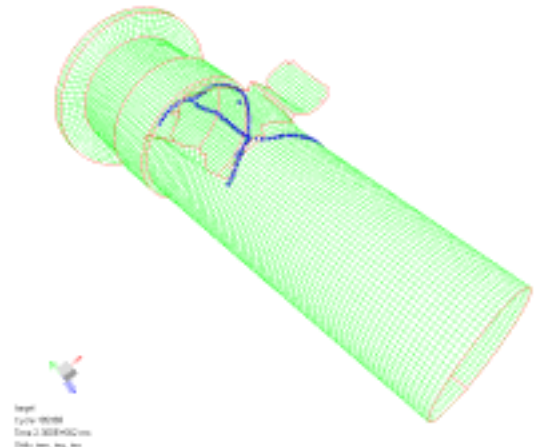


図 2 開口状況の比較 (30ms、斜め視点)

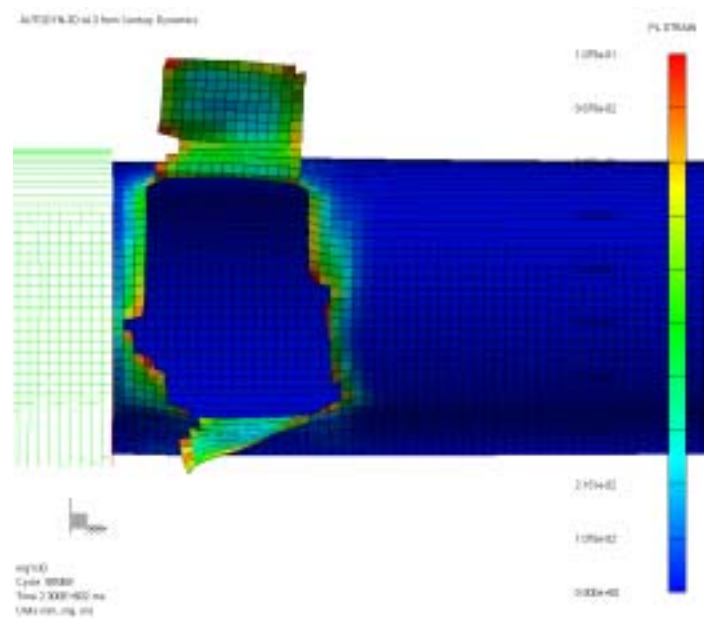


図 3 開口状況及び配管の塑性ひずみ分布 (30ms)

出典：第 7 回事故調査委員会 資料 7 - 1 - 1
(別添 3 - 2)
(原子力安全基盤機構からの提出資料)より抜粋

「PWR 管理指針」の妥当性の検討

1. 「PWR 管理指針」の概要

(1) 適用範囲

PWR プラント 2 次系炭素鋼管(計装系等の小口径配管を除く)

(2) 点検方法

JIS Z 2355「超音波パルス反射法による厚さ測定方法」に準拠した超音波肉厚測定器による。

(3) 点検対象

表1に示す主要点検系統のうち、偏流発生部位 及び下流の $2 \times D$ (D は配管口径)を主要点検部位として規定している(表1)。

また、その他の部位についても、上記偏流発生部位について10年間に約25%を点検対象とすることも規定している。

偏流発生部位とは、制御弁下流部、玉型逆止弁下流部、エルボ、T管、オリフィス下流部、スウィング型逆止弁下流部、レジューサ、曲管をいう。

(4) 点検頻度

計算上必要とされる最小肉厚になるまでの余寿命を各部位毎に算出し、余寿命が2年以下になるまでに点検を実施すること、また、点検結果を評価し、余寿命が2年以下になるまでに再点検を繰り返して実施することが規定されている(図1)。

表1 主要点検系統

区分	条件			代表系統名	備考
	湿り度	流速	温度		
二 相 流	15%以上	30m/sec 未満	150-200	第6 高圧ヒ-外レン管、第5 高圧ヒ-タドレン管	主要点検 部位全て に適用す る。
			200-250	湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管	
		30-50m/sec	150-200	-	
			200-250	-	
		50m/sec 以上	150-200	高圧排気管ドレン管	
			200-250	-	
	5-15%	30m/sec 未満	150-200	-	
			200-250	スチ-ム・コンバ-タ加熱蒸気管	
		30-50m/sec	150-200	第5 抽気管、第4 抽気管	
			200-250	-	
		50m/sec 以上	150-200	第5 抽気管、第4 抽気管	
			200-250	第6 抽気管、第5 抽気管	
	5%未満	30m/sec 未満	150-200	脱気器空気抜管	
			200-250	第6 高圧ヒ-タ空気抜管、第5 高圧ヒ-タ空気抜管	
			250 以上	湿分分離加熱器バ-ランス管	
		30-50m/sec	150-200	-	
			200-250	-	
			250 以上	湿分分離加熱器バ-ランス管	
		50m/sec 以上	150-200	-	
			200-250	-	
			250 以上	-	
単 相 流	水	3m/sec 未満	100-150	主復水管	
			150-200	給水プ-スター・ポンプ吸込管、湿分分離器ドレン管	
		3-6m/sec	100-150	-	
			150-200	主給水管、給水プ-スター・ポンプ吐出管	
		6m/sec 以上	100-150	-	
			150-200	-	
二 相 流	15%以上	30m/sec 未満	100-150	第4 低圧ヒ-外レン管	制 御 弁 下 流 部 及 び 玉 型 逆 止 弁 下 流 部 の み に 適 用 する。
		30-50m/sec		-	
		50m/sec 以上		-	
単 相 流	水	3m/sec 未満	200-250	-	
		3-6m/sec		主給水管	
		6m/sec 以上		-	

- : 現状のプラントでは該当する配管なし

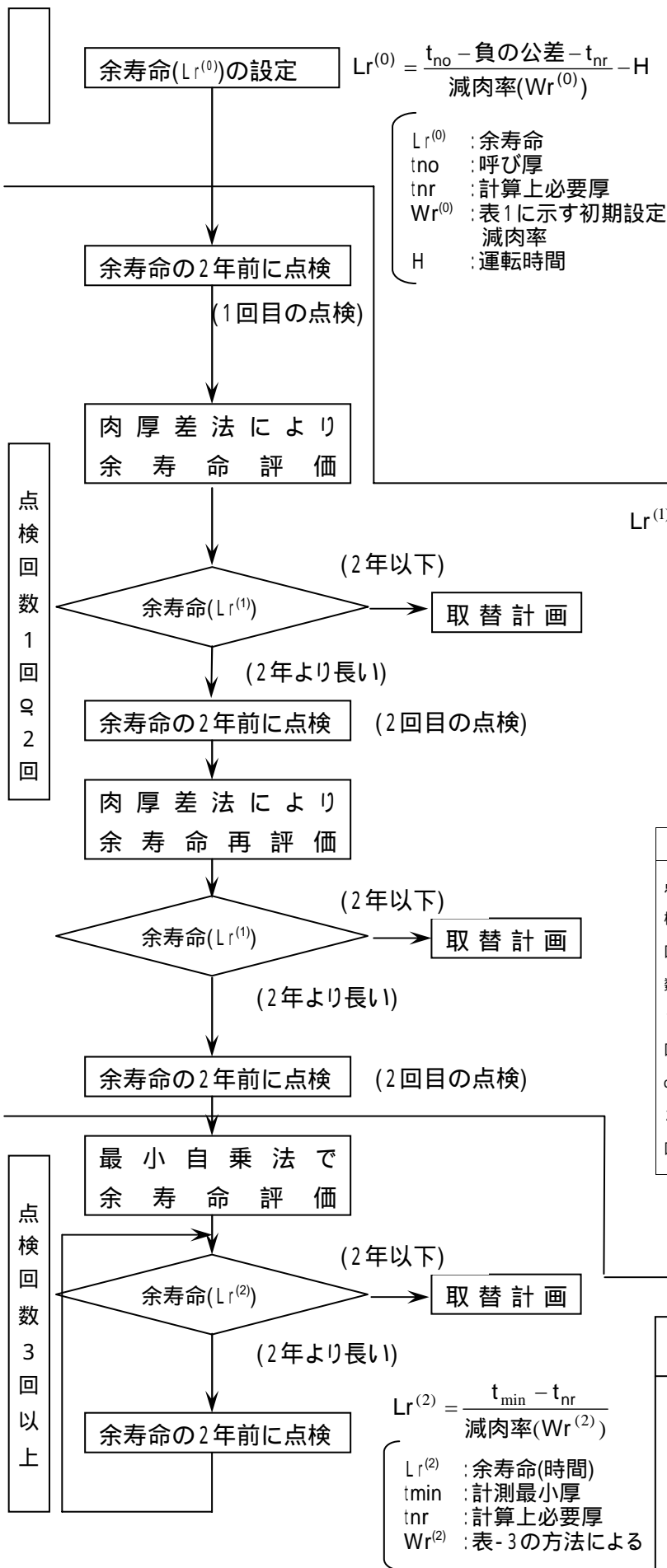


表-1 $L_r^{(0)}$ 設定に使用の $Wr^{(0)}$ の値

		温度				
		100 未満	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 以上
二相流 渾り度 15%以上	30m/s未満			0.35		
	30m/s ~ 50m/s		0.30			
	50m/s以上			1.15		
二相流 渾り度 5 ~ 15%	30m/s未満			0.35		
	30m/s ~ 50m/s				1.15	
	50m/s以上					
二相流 渾り度 5%未満 (ドレン巻込みの可能性有り)	30m/s未満			0.35		
	30m/s ~ 50m/s				1.15	
	50m/s以上					
水単相流	3m/s未満					
	3m/s ~ 6m/s		0.45	0.30		
	6m/s以上					

注) 1. $Wr^{(0)}$ の単位は $\times 10^{-4} \text{mm/hr}$
 2. 表4の色の範囲
 (1) 制御弁下流部は表中の数値に5倍する
 (2) 玉型逆止弁下流部は表中の数値に2倍する

$$L_r^{(1)} = \frac{t_{min} - t_{nr}}{\text{減肉率}(Wr^{(1)})}$$

$L_r^{(1)}$: 余寿命(時間)
 t_{min} : 計測最小厚
 t_{nr} : 計算上必要厚
 $Wr^{(1)}$: 表-2の方法による

表-2 $L_r^{(1)}$ 設定に使用の $Wr^{(0)}$ の値

	方法区分 (対象部位)	減肉率算出要領
点検回数	長手肉厚差法 (製造時の肉厚が長手方向で均一なもの (エルボ、T管の母管側、曲管))	$Wr^{(1)} = \frac{\text{管軸方向最大厚さ}}{\text{運転時間}}$
	円周肉厚差法 (製造時の肉厚が円周方向で均一なもの (レジューサ、直管、T管の枝管側))	$Wr^{(1)} = \frac{\text{管軸方向最大厚さ}}{\text{運転時間}}$
1 回目 or 2 回目	公称肉厚法 (レジューサ、直管)	$Wr^{(1)} = \frac{\text{呼び厚} - \text{計測最小厚}}{\text{運転時間}}$

レジューサ及び直管については肉厚差法または公称肉厚法の減肉率のうち、いずれかの大きい方の値で評価する。

表-3 $L_r^{(2)}$ 設定に使用の $Wr^{(2)}$ の値

	方法区分 (対象部位)	減肉率算出要領
点検回数 3 回以上	最小自乗法 (全ての部位)	傾きを最小自乗法で求め $Wr^{(2)}$ とする。

図1. 余寿命設定要領

2. 配管減肉管理手法と減肉の傾向

(1) 対象となる減肉要因

PWR各社が使用しているPWR管理指針及びBWR各社が使用しているそれぞれの管理手法は、エロージョン・コロージョンによる減肉を対象としている。ここで、エロージョン・コロージョンとは、「機械的作用による浸食(erosion)と化学的作用による腐食(corrosion)との相互作用によって起きる減肉現象」をいい、典型的には減肉面がいわゆる鱗片状模様を示すものである。

(2) 報告徴収により提出のあったデータに基づく評価

平成16年8月11日付け配管減肉事象に係る点検に関する報告徴収に対する各事業者から報告があった各プラントの減肉測定データ及び平成16年8月18日付け美浜発電所3号機2次系配管破損事故に関する報告徴収に対する関西電力からの報告のあった同号機2次系配管肉厚測定データを用いて減肉傾向の分析を行った。

(3) PWR配管に係る減肉

図2にPWR各プラントで測定された減肉量の推移及びこれに基づく実績減肉率を示す。実績減肉率とPWR管理指針に示す初期設定減肉率と比較すると、Aの主給水管を除き、いずれも実績減肉率は当該初期設定減肉率を下回っている。

図3に美浜3号で測定された減肉量の推移とPWR管理指針に示す初期設定減肉率と比較を示す。これによると、一部のデータを除き、減肉量の推移は、初期設定減肉率を下回っている。

図4にPWR管理指針で全数点検を行う主要点検系統とサンプリング点検を行うその他の系統の減肉量の比較を示す。これによると、全体の傾向として、その他の系統の方が減肉率が小さく、環境による減肉率の違いが現れていると考えられる。しかしながら、その他の系統であっても、主要点検系統と同程度の減肉量が認められる部位がある。

(4) 美浜3号機破損配管の想定減肉率について

美浜3号機破損配管の想定減肉率を、PWR管理指針の余寿命評価式を基に計算すると、 $0.47 \times 10^{-4} \text{ mm/Hr}$ となり、当該部の同指針における初期設定減肉率 $0.45 \times 10^{-4} \text{ mm/Hr}$ とほぼ等しくなる。

なお、未点検部位の余寿命の設定のための余寿命評価式では、減肉の起点となる部材の厚さに「呼び厚 - 負の公差」を用いているが、減肉率を保守的に評価するためには、負の公差を考慮しないことも考えられ、今後の検討課題とすべきである。

3. 主要点検部位の測定範囲と測定ポイント

(1) 測定ポイントの設定

PWR各社は、測定ポイント及び測定手順を、定期検査ごとに、契約により検査会社と取り決めている。具体的には、測定部位の構造に応じ、測定断面を定めるとともに、一断面当たり8点又は4点の測定ポイント(以下これを「代表測定ポイント」という。)を設け、オリフィス下流部については、 $3 \times D$ (D :配管口径)の範囲の断面まで測定することになっている。測定手順については、代表測定ポイントにおける測定で、肉厚が詳細測定判定基準厚さ未満である場合、当該測定ポイントの周囲を20mmピッチを目安に、詳細測定を行っている。

(2) 測定結果の分析

当院では、報告徴収により関西電力から入手した美浜3号機の詳細測定結果を用いて、測定範囲及び測定ポイントと減肉発生状況との関係を分析した。測定結果の分布を図5に示す。これによれば、代表測定ポイントによる測定及びそのデータに応じた詳細測定により、その形状・寸法を適切に把握できている。

4. BWR配管に係る減肉

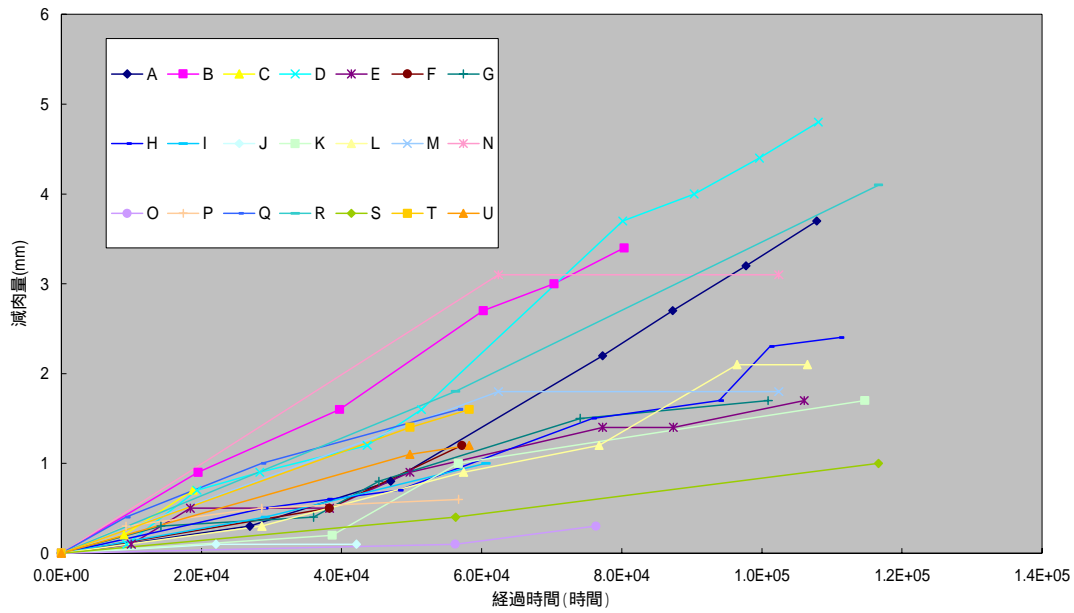
(1) 使用されている管理手法

BWR各社は、それぞれ独自に管理手法を定めているが、内容としては共通的な事項が多くなっている。PWR管理指針との比較では、点検対象範囲については、BWRの方が広がっているが、点検頻度については、PWRの方が全数点検の対象となる主要点検系統が多く、点検箇所数としてはサンプリング点検の対象が多いBWRの方がPWRより少なくなっている。

(2) BWR配管に係る減肉

図6にBWR各プラントで測定された減肉量の推移及びこれに基づく実績減肉率を示す。図2と図6の比較から分かるように、PWRとBWRでは減肉の傾向が異なり、BWRはPWRより減肉率が下回っている。これ理由としては、PWRとBWRの水質管理の違いがあると考えられる。

PWR減肉トレンド



経過時間は初回点検からの時間

番号	系統名	点検部位	材質	温度()	流速(m/s)	湿度	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/Hr)	指針上の 区分
A	主給水管	直管(制御弁下流)	STPT49	228	5.3	水	0.40	
B	主復水管	直管(オリフィス下流)	SB42	145	3.0	水	0.43	
C	主復水管	直管(オリフィス下流)	SB42	147	4.0	水	0.41	
D	主給水管	T管	STPT49	220	5.4	水	0.38	その他
E	復水管	T管	SB42	118	1.4	水	0.19	
F	主給水管	90°エルボ	SB49	190	5.1	水	0.42	
G	復水系統	90°エルボ	SB42	132	3未満	水	0.30	
H	復水系統	90°エルボ	STPT38	147	3未満	水	0.30	
I	復水系統	T管	SB410	148	3~6	水	0.18	
J	高・低圧ヘントドレン系統	曲管	PG370	187	3未満	水	0.26	
K	高・低圧ヘントドレン系統	レジューサ	SB42	191	3未満	水	0.17	
L	給水系統	90°エルボ	SB42	189	3~6	水	0.24	
M	給水ポンプミッドパイプ-管	90°エルボ	STPT38	182	2.3	水	0.19	
N	給水ポンプミッドパイプ-管	下流管	STPT38	182	2.3	水	0.32	
O	主給水管	直管(制御弁下流)	STPT49	221以下	0.0	水	0.04	
P	復水管	T管(母管側)	SB42	151	3.7(母管側)	水	0.10	
Q	復水管	T管(枝管側)	STPT38	151	3.7(母管側)	水	0.28	
R	主給水ブースターポンプ吐出管	90°エルボ	SB42	188	5.7	水	0.35	
S	主給水ブースターポンプ吐出管	下流管	SB42	188	5.7	水	0.09	
T	湿分離加熱第1,2段加熱器空気管	T管(母管側)	STPT38	224	6.1(母管側)	5%以下	0.28	
U	湿分離加熱第1,2段加熱器空気管	T管(枝管側)	STPT38	224	6.1(母管側)	5%以下	0.21	

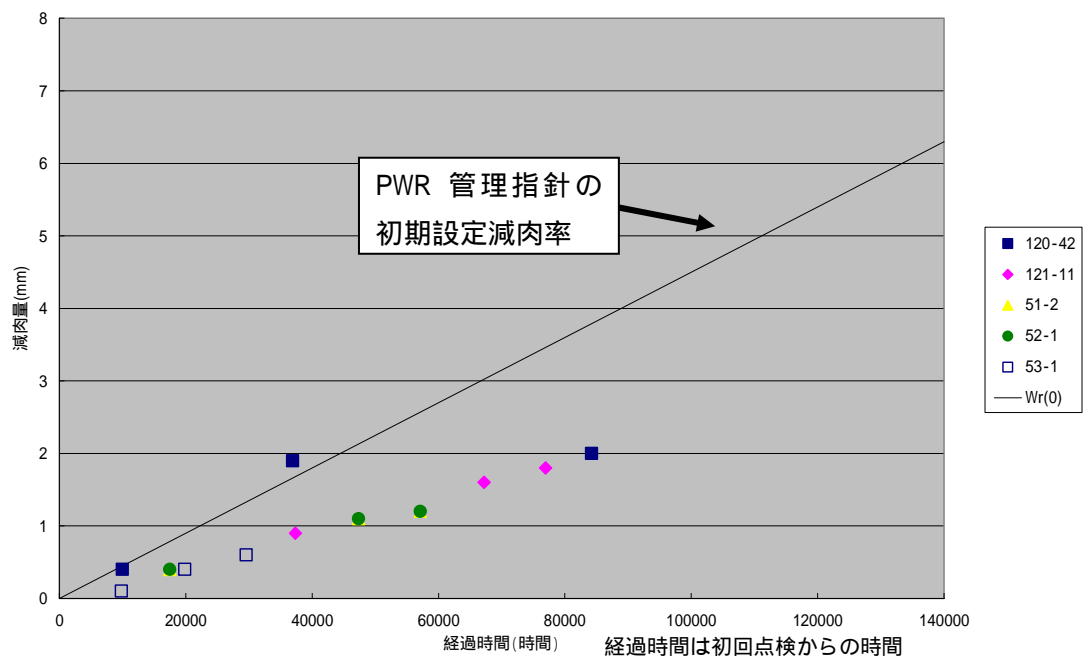
(注)PWR 管理指針の初期設定減肉率

減肉率平均値: 0.26×10^{-4} mm/Hr

			温度				
			100 未満	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 以上
二相流 湿度 15%以上	流速	30m/s未満		0.30	0.35		
		30m/s ~ 50m/s			1.15		
		50m/s以上					
二相流 湿度 5 ~ 15%	流速	30m/s未満			0.35		
		30m/s ~ 50m/s			1.15		
		50m/s以上					
二相流 湿度 5%未満 (ドレン巻込みの可能性あり)	流速	30m/s未満			0.35		
		30m/s ~ 50m/s			1.15		
		50m/s以上					
水単相流	流速	3m/s未満		0.45	0.30	制御弁下流部及び玉型逆止弁下流部のみ	
		3m/s ~ 6m/s					
		6m/s以上					

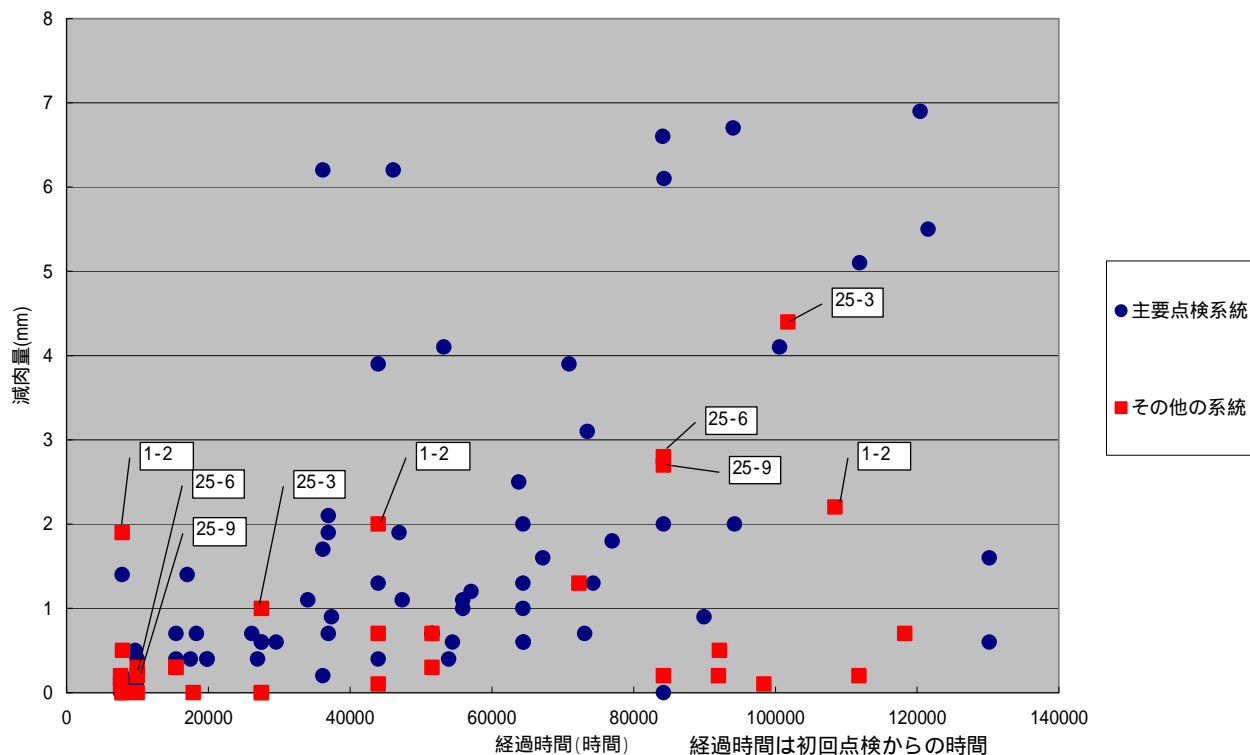
注) 1)PWRの単位は $\times 10^{-4}$ mm/Hr
2)表の色の範囲
(1)制御弁下流部は表中の数値に5倍する
(2)玉型逆止弁下流部は表中の数値に2倍する

図2 PWR 配管減肉測定部位と減肉傾向



番号	系統	点検部位	材質	湿り度	流速(m/s)	温度()	Wr(0) ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	減肉率実測値 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)mm
120-42	給水ブースターポンプ吸込管	エルボ	STPT38	水	3未満	150-200	0.45	0.239
121-11	給水ブースターポンプ吸込管	エルボ	SB42	水	3未満	150-200	0.45	0.242
51-2	湿分分離器ドレン管	エルボ	STPT38	水	3未満	150-200	0.45	0.22
52-1	湿分分離器ドレン管	エルボ	STPT38	水	3未満	100-150	0.45	0.161
53-1	主給水管	直管	STPT49	水	3-6	150-200	0.45	0.213

図3 美浜3号機配管減肉測定部位と減肉傾向



番号	系統	点検部位	材質	湿度	流速(m/s)	温度()	減肉率実測値 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)mm
1-2	第3抽気管	T管	STPT38	5%未満	30-50	100-150	0.266
15-1	タービンバイパス管	レジューサ	STPT39	5%未満	30未満	250以上	0.075
16-5	タービンバイパス管	レジューサ	STPT40	5%未満	30未満	250以上	0.024
17-2	湿分分離器加熱蒸気管	エルボ	STPT41	5%未満	30-50	250以上	0.02
19-1	湿分分離器加熱蒸気管	エルボ	STPT42	5%未満	30-50	250以上	0.135
20-7	湿分分離器加熱蒸気管	レジューサ	STPT43	5%未満	30-50	250以上	0.032
23-1	脱気加熱器蒸気管	エルボ	STPT44	5%未満	30未満	250以上	0.203
25-3	No.2ヒータドレン管(制御弁下流部)	エルボ	STPT45	15%以上	30未満	100未満	0.438
25-6	No.2ヒータドレン管(制御弁下流部)	エルボ	STPT46	15%以上	30未満	100未満	0.334
25-9	No.2ヒータドレン管(制御弁下流部)	エルボ	STPT47	15%以上	30未満	100未満	0.327
42-6	低圧ドレンタンクバランス管	エルボ	STPT48	水	3未満	100未満	0.025
65-4	主蒸気管	T管	SB42	5%未満	50以上	250以上	0.194
66-2	タービングラント蒸気管	T管	STPT38	5%未満	30未満	250以上	0.101

図4 美浜3号機主要点検系統とその他の系統の比較

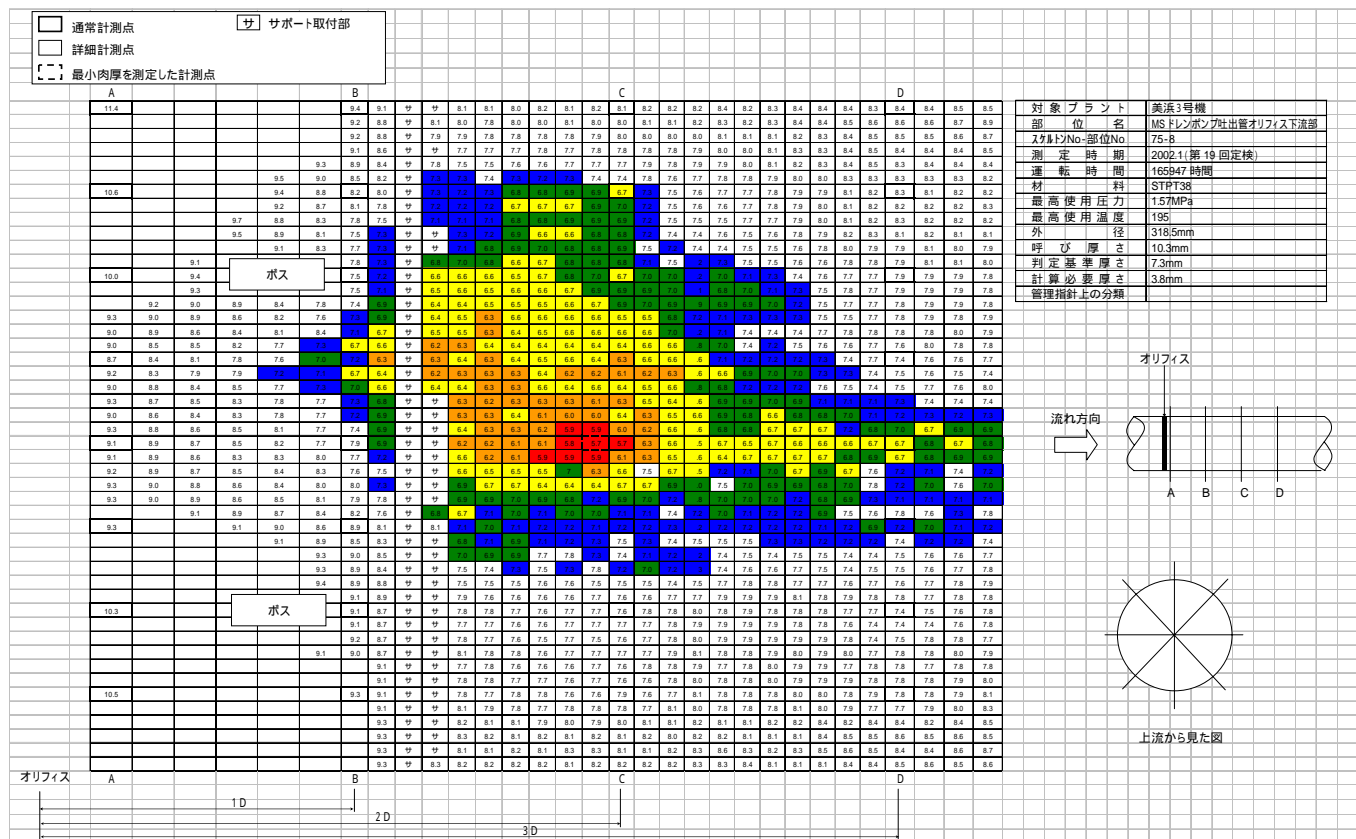
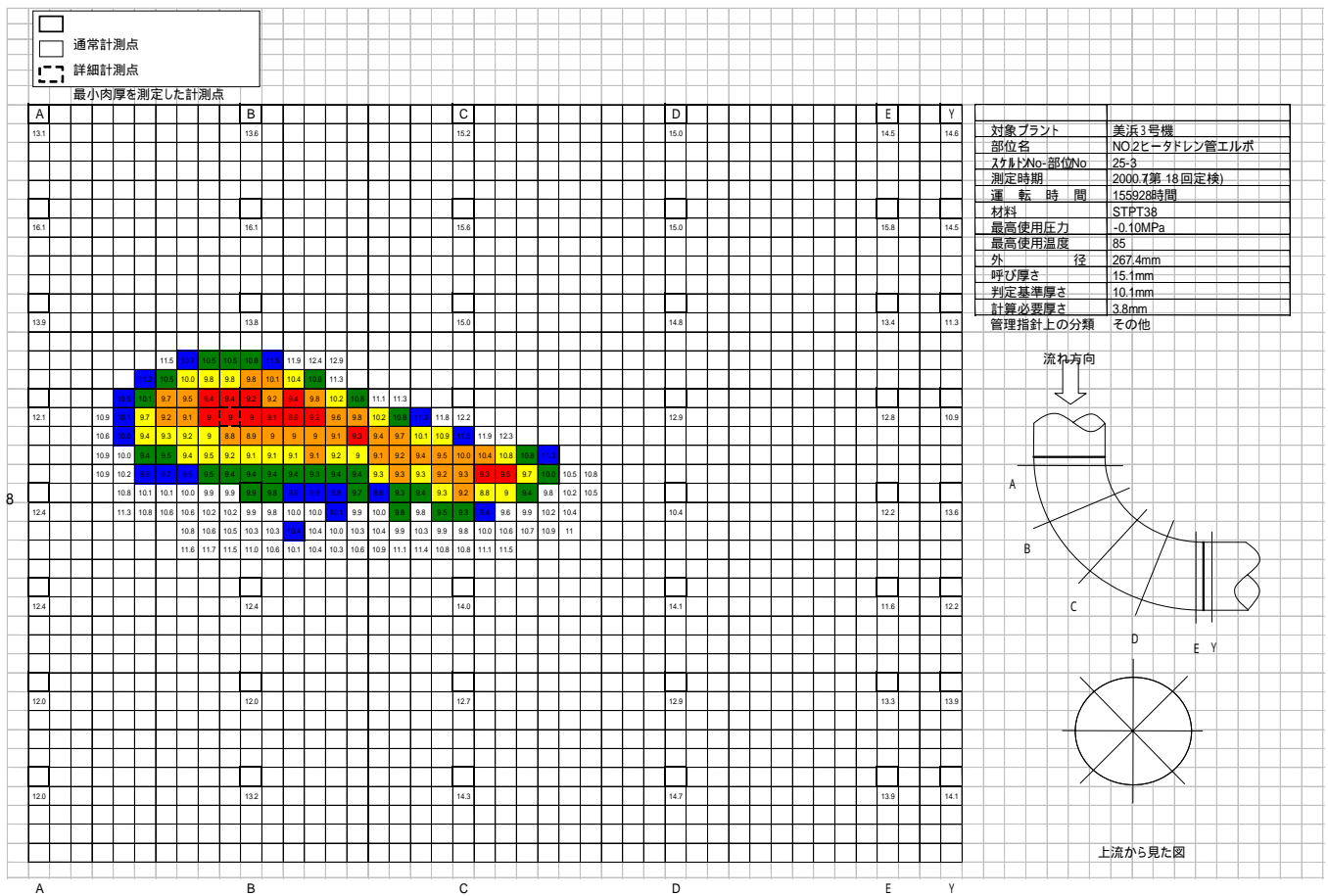
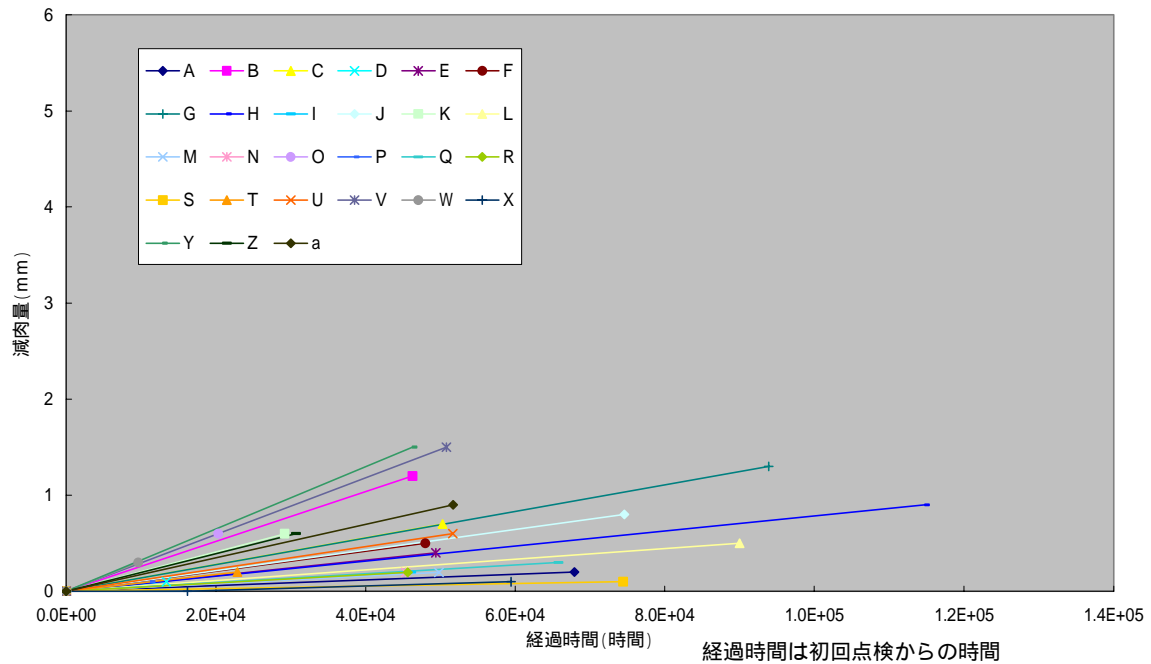


図5 美浜3号機測定結果(例)

BWR減肉トレンド



番号	点検部位	材質	温度()	流速(m/s)	湿り度	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/Hr)
A	原子炉給水ポンプ入口エルボ	SB49	114	3.1	水	0.10
B	湿分分離器ドレンラインエルボ	STPT42	194	0.4	水	0.26
C	復水浄化系ラインオリフィス下流	STPT38	34	6	水	0.16
D	M/DRFP出口ライン弁下流	STPT49	196	6.3	水	0.02
E	給水加熱器ドレンラインエルボ	STPT38	113	5.6	水	0.08
F	給水再循環ラインオリフィス下流直管	SB49	34	4.3	水	0.10
G	HPCP吸込ラインエルボ	SB46	33	2	水	0.14
H	M/DRFP吸込ヘッダーラインT管	SB49	190	4	水	0.08
I	M/DRFPミッド-弁後弁下流エルボ	STPT49	145	5	水	0.04
J	第3給水加熱器出口ライン直管	SB42	144	5	水	0.01
K	M/DRFPミッド-配管オリフィス上流セーフエンド	A105	190	5.2	水	0.14
L	M/DRFPミッド-弁下流レジュサ	SF50A	144	5.1	水	0.08
M	復水ポンプ吐出流量調整弁下流レジュサ	STPT38	60	1.3	水	0.04
N	T/DRFP吐出配管エルボ	SB49	145	5.4	水	0.05
O	T/DRFPミッド-ラインFCV下流	STPT49	145	5.1	水	0.30
P	高圧ドレンポンプシール水調節弁下流エルボ	STPT370	43	1.8	水	0.05
Q	主蒸気止め弁出口部直管	STPT42	277	39.3	0.4%	0.05
R	T/DRFP出口部エルボ	STPT42	158	4.7	水	0.05
S	給水ポンプ再循環ライン復水器戻り部直管	STPT49	160	6.6	水	0.02
T	復水ポンプ出口部直管	SM41A	33	1.2	水	0.10
U	復水系オリフィス下流直管	STPT38	65		水	0.11
V	抽気系レジュサ	SB46	207		1.5%以上	0.30
W	給水系70-ノズル下流直管	SB480	231		水	0.31
X	抽気系T管下流部	SB42B	193	43	水	0.05
Y	給水加熱器入口部エルボ	SM50A	98	4.5	水	0.40
Z	ドレン系キャップ	SM41A	40		1.5%以上	0.20
a	復水系エルボ	STPT49	70		水	0.18

減肉率平均値: 0.13×10^{-4} mm/Hr

図6 BWR 配管減肉測定部位と減肉傾向

大飯発電所1号機主給水配管の減肉事象の概要

平成16年7月5日、定期検査中の関西電力大飯発電所1号機（加圧水型軽水炉、定格電気出力117万5千kW）において、蒸気発生器に接続される主給水配管（炭素鋼）の厚さを測定した結果、4系統ある配管のうち、3系統の配管エルボ部で厚さが部分的に計算上必要厚さを下回っていることが確認された。（法律に基づく報告対象）

切断した配管の内面を目視点検した結果、割れや腐食等の異常は認められなかったが、ほぼ全面にエロージョン・コロージョンに見られる鱗片状模様を呈し減肉していた。また、当該エルボ部及びその上流にある主給水隔離弁（玉型弁）による流況について、解析を実施した結果、当該弁内部で生じた流れの乱れが、エルボ部で更に強くなり、エロージョン・コロージョンを発生させる可能性があることが確認された。

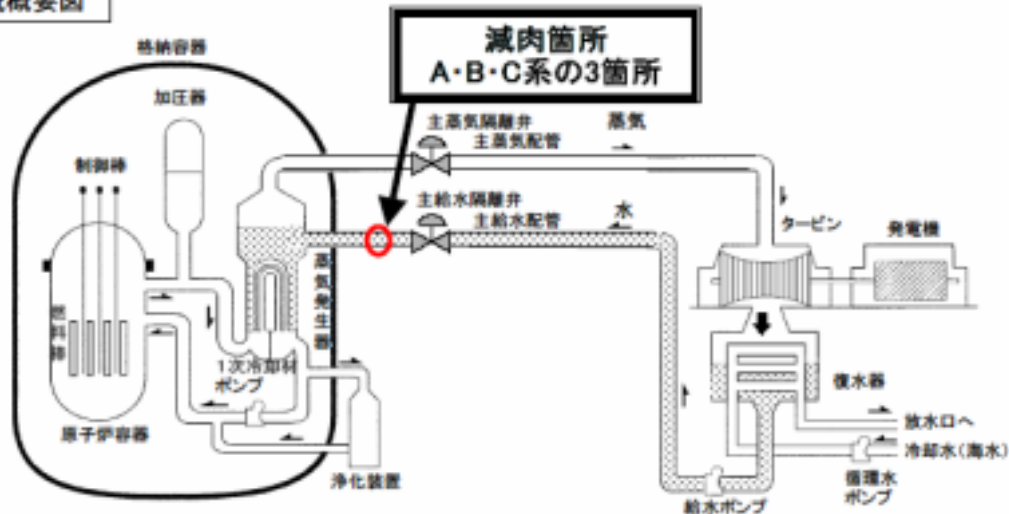
当該エルボ部については、平成元年と平成5年に関西電力により自主点検が実施され、減肉傾向が認められていたが、当該部位については、その後、今回の定期検査まで、点検が行われていなかった。

関西電力では、本件を踏まえ次の対策を講じるとしている。

当該エルボ部については、同寸法・同材料の配管に取り替える。
今後、同型の主給水隔離弁を有する大飯2号機を含め、当該部位について減肉傾向の監視を強化する。また、他プラントを含め、主給水系統で著しい減肉が発生する可能性のある部位についても、同様の措置を講じる。
今般の保守管理上明らかになった問題点に関し、保守管理に係るシステム全般について、点検を行うとともに、その結果を踏まえた対策を講じる。

本減肉発生部位は230の水系配管であることから、PWR管理指針では「その他系統」として、サンプリング点検の対象となるが、そのような取扱いでよいかどうか、あるいは発生部位と同じ構造、環境であるのに、D系統には顕著な減肉は発生しておらず、そのことを踏まえた管理をどうするか、などPWR管理指針の見直しに係る課題がある。

系統概要図



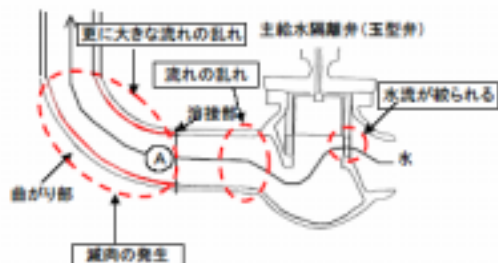
測定結果

配管形状	計算上の必要厚さ	実測最小値
A-主給水配管曲がり部(45°)	15.7mm	14.5mm
B-主給水配管曲がり部(90°)		12.1mm
C-主給水配管曲がり部(90°)		13.9mm
D-主給水配管曲がり部(90°)		20.0mm

配管仕様

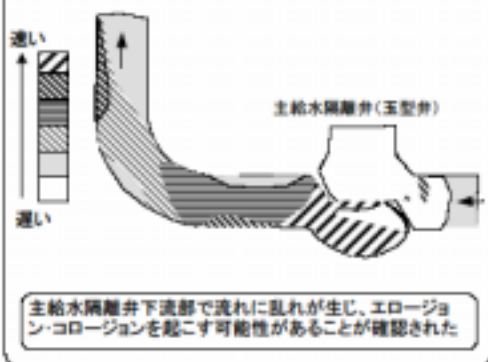
外 径: 約410mm
 厚 さ: 約21mm
 最高内圧: 約8MPa
 最高温度: 約230℃
 材 質: 炭素鋼鋼管
 流 量: 約1,700t/h・ループ

減肉発生メカニズム



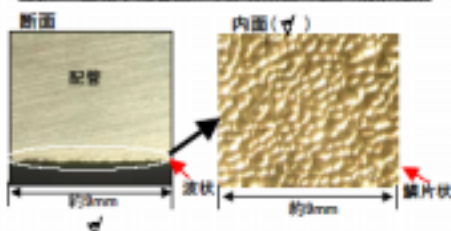
主給水隔離弁(玉型弁)内部で生じた流れの乱れが、配管曲がり部でさらに強くなり、エロージョン・コロージョンを発生させる可能性があることが確認された。

流況解析



拡大観察(A部)

(例) 主給水配管曲がり部切断面の拡大観察結果



エロージョン・コロージョンに見られる鱗片状模様を呈し減肉していた。

図 大飯発電所1号機二次系主給水配管エルボ部の減肉の調査結果

電気事業者からの配管肉厚の管理状況に係る報告について原子力安全・保安院が行った検証結果

		点検対象部位数	肉 厚 管 理 実 施 部 位 数		点検漏れ部位数	備 考
		指示に基づく確認後(*1)	点検済(*2)	代表点検部で評価済み等(*3)		
PWR (23基)	復水系統	12,027	8,985	3,042	0	美浜3号機の事故発生箇所及び類似箇所は除いている。
	給水系統	7,374	6,761	608	5	高浜3号機(5)
	主蒸気系統	14,376	9,834	4,538	4	高浜3号機(2)、大飯3号機(2)
	抽気系統	4,357	3,139	1,212	6	美浜3号機、高浜1、3及び4号機、大飯3及び4号機(各1)
	ドレン系統	35,661	28,859	6,802	0	
	その他	7,974	4,356	3,618	0	グラント蒸気系統、SGブローダウン等 (なお、当該系統をドレン系統、主蒸気系統に計上している社もある)
	小計	81,769	61,934	19,820	15(*4)	
BWR (29基)	復水系統	34,343	4,815	29,528	0	
	給水系統	7,308	2,446	4,862	0	
	主蒸気系統	7,971	928	7,043	0	
	抽気系統	1,966	326	1,640	0	
	ドレン系統	14,558	1,213	13,345	0	
	小計	66,146	9,728	56,418	0	
合計		147,915	71,662	76,238	15(*4)	

(*1)「指示に基づく確認後」：PWR管理指針と比較した上で、点検対象部位を見直した結果の総点検部位数

(*2)「点検済」：報告時点で点検実施済みの部位数

(*3)「代表点検部で評価済み等」：サンプリング点検で管理できると判断された範囲の内、代表点検部以外の部位数及び今後点検を予定している部位数、並びに、低合金鋼適用済部位数

(*4)「点検漏れ部位数」：事故機である美浜3号機の1箇所を除き、報告時点で点検漏れとなっていた15カ所中14カ所は点検済み

火力発電所における配管の肉厚管理について

1. 配管の肉厚管理に関する法律上の位置づけ

火力発電所の配管についての配管肉厚測定は、電気事業法に基づく定期事業者検査の対象ではなく、これまで一部の事業者において自主保安の一環として配管肉厚に係る技術基準への適合性の確認が行われていた。

2. 事業者による配管の肉厚管理の実施状況

火力発電所については、平成16年8月11日、電気事業法第106条第3項及び第4項に基づき、発電用火力設備を所有する電気事業者等(一般電気事業者、共同火力、自家用電気工作物設置者等)から、水・蒸気系配管のうち減肉の可能性のある部位の肉厚に係る非破壊検査の実施状況及び検査未実施の部位に関する検査実施計画等について報告を求めた。

その結果、10月19日までに、電気事業者等から肉厚検査実施計画が報告された。「表1 火力発電設備における配管肉厚検査の実施状況」に集計結果を示す。報告によれば、約541,000の調査対象箇所のうち、約487,000箇所がこれまで検査未実施であったが、全ての事業者が、配管肉厚に係る検査や評価を行い配管の安全性を確認するための計画を有しており、順次検査等を実施していくことが示されている。

表1 火力発電設備における配管肉厚検査の実施状況

	調査対象部位数	検査実施部位数	検査未実施部位数
一般電気事業者等11社	約166,000箇所	約14,000箇所	約152,000箇所
自家用電気工作物設置者等	約374,000箇所	約39,000箇所	約335,000箇所
合 計	約541,000箇所	約53,000箇所	約487,000箇所

3. 保安院の対応

3.1. 配管肉厚管理の定期事業者検査への追加

保安院としては、「中間とりまとめ」における指摘を踏まえ、今後とも配管の減肉現象に対して技術基準への適合性の確認が継続的に実施されることを確実にするため、減肉の可能性のある配管の肉厚検査を定期事業者検査の対象に含めることとした。

具体的には、本報告書4.4.1(1)で述べている電気事業法施行規則の改正において、発

電用火力設備の蒸気タービン等について定期事業者検査の対象設備を明確化した。また、同規則を受けて、発電用火力設備に係る配管の肉厚検査を新たに定期事業者検査の対象に含める通達を平成 17 年 4 月 1 日に施行することとしている。

これにより、事業者においては、平成 17 年 4 月以降に実施する定期事業者検査を新しい通達に基づき実施し、その中で自ら定める配管の肉厚検査の計画に基づいた配管の肉厚管理を行うこととなる。なお、国及び登録安全管理審査機関においては、事業者による定期事業者検査の実施体制を安全管理審査で確認することとなる。

3.2. (社)日本機械学会に対する規格策定の要請

保安院からの要請を受けて(社)日本機械学会で進められている規格策定作業(本報告書 4.4.1(2)参照)では、原子力発電所に係る規格とともに、火力発電所に適用するための規格についても検討対象に含められている。従来、火力発電所については、配管の肉厚管理に係る共通の技術的指針が定められていなかった。一部の事業者では独自に自主的な管理方針を定めていたが、ほとんどの事業者は、他の発電所におけるトラブル事例などに基づいてごく一部の配管の検査を行うにとどまっていた。

また、多くの火力発電事業者は、「PWR 管理指針」を参考にするなどして検査実施計画を立てているが、火力発電所は原子力発電所とは異なり、ベースロード対応、ピークロード対応など運転状態等が多様であり、また、温度、圧力等も異なっている。このため、各事業者の検査実施計画に従って測定される実績データを集約・分析して、火力発電所における適切な配管の肉厚管理のための技術的指針を策定することが必要である。

同学会では、平成 17 年 3 月 16 日、配管の肉厚管理に関する機能性規格を制定したが、今後さらに、技術規格を早急に制定する予定としている。

経 済 産 業 省

平成 17・02・16 原院第 1 号
平成 17 年 2 月 18 日

原子力発電所の配管肉厚管理に対する要求事項について

原子力安全・保安院
NISA - 163a - 05 - 1

原子力安全・保安院（以下「当院」という。）は、平成 16 年 8 月 9 日に発生した「関西電力（株）美浜発電所 3 号機二次系配管破損事故」に関する中間とりまとめを受け、事故の再発を防止するための措置として、沸騰水型及び加圧水型原子力発電所（以下それぞれ「BWR プラント」及び「PWR プラント」という。）における配管肉厚測定について、電気事業法第 55 条に基づく定期事業者検査として実施すべき検査としての位置付けを、平成 16 年 12 月 28 日付で電気事業法施行規則（平成 7 年通商産業省令第 77 号）を一部改正し、明確化したところである。

当院は、電気事業法施行規則の改正に併せ、従来電気事業者に委ねていた配管減肉管理を実施する場合における、検査対象箇所を選定、測定ポイントの設定、検査実施時期の設定、及び算出された余寿命に応じて構ずるべき措置等について、各電気事業者が同検査を実施する場合に遵守すべき事項として定め、これらの遵守を電気事業者に対し要請することとした。

なお、本要請は、（社）日本機械学会において発電用原子力設備の配管肉厚管理に関する技術規格が策定され、当院が技術的評価を行った上で、当該規格が判断基準として位置付けられるまでの間の暫定的な措置である。

1. 検査対象箇所の選定

定期事業者検査として管理対象となる配管の中から、1.(1)に該当する部位については、2. から 4. の規定に従い、適切に検査を実施すること。また、1.(1)に該当しない部位についても、1.(1)に該当するものも含め、5. の規定に従い適切に検査を実施すること。

(1) 部位

オリフィス下流部、制御弁・流量調整弁下流部、玉型弁下流部、玉型逆止め弁下流部、エルボ、ティー管、スウィング型逆止め弁下流部、レジューサ、曲管等偏流の影響を受ける部位については、配管内部を流れる流体の温度、流速、状態（単相流、二相流）当該部位の使用頻度に加え、これまで各電気事業者が採用してきた管理指針、過去の故障、トラブル経験等における減肉実績及び、劣化、故障モード等に係る既存の工学的知見をも考慮して、浸食、腐食及び、これらの相互作用等により減肉が顕著に発生すると予想される部位を検査対象箇所として選定すること。

本指示文書発出前における検査対象箇所の選定として、絞り込みにより選定を行っている場合については、別紙 1 を参考にして、再度、その妥当性を確認すること。環境条件（温度、湿り度、流速、溶存酸素濃度等）及び構造条件（口径、肉厚、材質等）等が類似すると思われる箇所においても、減肉の発生状況が異な

る可能性があることから、検査対象箇所を類似箇所の代表（代表部位）として選定することの妥当性確認については、偏流発生部位の上流管及び下流管の配置等も含めて総合的に判断するなど、慎重にこれを実施すること。

ただし、検査対象箇所の絞り込みを行った場合であっても、代表部位の算出された余寿命が5年未満となった以降は、絞り込みを行わず類似箇所も含めて全ての箇所を検査対象に選定すること。

また、過去の故障実績、トラブル経験等の運転経験、劣化・故障モード等の既存の工学的知見から著しく顕著な減肉の発生が予想される部位については絞り込みを行わず、全て検査対象箇所に選定すること。

なお、管理対象となる配管に係る検査対象箇所の選定について、当該選定箇所の妥当性を確認するため、検査対象箇所に選定した以外の箇所についても、必要に応じて検査を実施すること。

（２）材料

炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼

（３）検査対象箇所の見直し

検査を実施した結果、見直しが必要と判断された場合には、速やかに検査対象箇所の見直しを実施すること。

2．測定ポイントの設定

選定した検査対象箇所に係る測定ポイントについては、「減肉傾向の有無を把握するために実施する場合（通常測定）」と、「通常測定により減肉の発生が把握された場合に、減肉進展状況の把握のために通常測定に加え実施する場合（詳細測定）」とに区分して、以下のとおり設定すること。

（１）減肉傾向の有無の把握（通常測定）

PWRプラントの場合

測定ポイントの設定については、別紙２「測定部位の構造に応じた測定ポイントの設定について」に従って行うこと。

ア．周方向

次のように配管の口径に応じた数の測定ポイントを円周方向にほぼ均等配置されるよう設定すること。

管の呼び径	測定ポイント数
5 B 以下	4 点以上
5 B を超えるもの	8 点以上

イ．軸方向

オリフィス下流部については、オリフィス取付部を始点として、オリフィス取付部から配管口径の3倍までの範囲で適切な測定ポイントを設定すること。

その他の偏流の影響を受けると予想される部位（制御弁・流量調整弁下流部、玉型弁下流部、玉型逆止め弁下流部、エルボ、ティー管、スウィング型逆止め弁下流部、レジューサ、曲管等）については、偏流発生部を始点として、その下流管の配管口径の2倍までの範囲で適切な測定ポイントを設定すること。

BWRプラントの場合

測定ポイントの設定については、別紙2「測定部位の構造に応じた測定ポイントの設定について」に従って行うこと。

ア．周方向

次のように配管の口径に応じた数の測定ポイントを円周方向にほぼ均等配置されるよう設定すること。

管の呼び径	測定ポイント数
5 B 以下	4 点以上
5 B を超えるもの	8 点以上 又は 測定ピッチ 1 0 0 mm 以内

イ．軸方向

管の呼び径が5 B 以下の場合、測定ピッチは偏流発生部位を始点として3 0 0 mmまでは、配管の口径の2倍又は1 0 0 mmの小さい方とし、それ以降は別紙2に従って、適切な測定ポイントを設定すること。

また、管の呼び径が5 B を超える場合、測定ピッチは偏流発生部位を始点として5 0 0 mmまでは、配管の口径の2倍又は1 0 0 mmの小さい方とし、それ以降は別紙2に従って、適切な測定ポイントを設定すること。

なお、上記測定ピッチより細かいピッチで測定することは妨げない。

(2) 減肉進展状況の把握（詳細測定）

通常測定の結果、以下に示す判定基準厚さを下回る測定ポイントが発見された場合には、判定基準厚さを下回る測定ポイントを中心として格子状に詳細なピッチ（約2 0 mmを目安）で測定ポイントを設定して、判定基準厚さを下回る範囲が把握できるように測定を行うこと。

$$\text{判定基準厚さ} = \text{必要最小厚さ} + (\text{管の製造上の最小厚さ} - \text{必要最小厚さ}) \times 2 / 3$$

なお、上記の判定基準厚さを求める場合、必要最小厚さには「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」、「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」及び「発電用火力設備の技術基準の解釈について」に規定された「必要最小厚さ」を用いること。また、「管の製造上の最小厚さ」には、公称肉厚から公差を差し引いたものを用いること。

3．検査実施時期の設定

(1) PWRプラントの場合

検査実施時期については、別紙3「配管余寿命評価方法」により算出された余寿命が5年以上ある場合は、以下のとおり設定すること。

なお、以下のいずれの場合であっても、算出された余寿命が5年を下回る場合については、「4．算出された余寿命に応じて構ずるべき措置」に従うこと。また、過去の検査結果、故障、トラブル経験等における減肉実績及び、劣化・故障モード等の既存の工学的知見から、特に監視を強化する必要がある部位については、以下に関わらず検査頻度を上げて検査を実施すること。

初回検査時期

初回の検査については、実績等を踏まえて設定した「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針(PWR)」の初期設定減肉率を用いて算出した余寿命が5年となる時期までに初回検査実施時期を設定すること。

また、実績等に基づく初期設定減肉率の設定が困難な場合は、速やかに初回検査を行い、別紙3「配管余寿命評価方法」により算出された余寿命に基づき、余寿命が5年となる時期までに次回検査実施時期を設定すること。

なお、算出された余寿命が、次の運転サイクル中に5年を下回る場合にあっては、次回定期事業者検査を検査実施時期に設定すること。

2回目以降の検査時期

2回目の検査実施時期の設定に当たっては、初回検査を行った結果、別紙3「配管余寿命評価方法」により算出された余寿命が5年となる時期までに次回検査実施時期として設定すること。

以降、同様にn回目検査の結果に基づき算出された余寿命が5年となる時期までにn+1回目検査の実施時期を設定すること。

なお、算出された余寿命が、次の運転サイクル中に5年を下回る場合にあっては、次回定期事業者検査を検査実施時期に設定すること。

(2) BWRプラントの場合

検査実施時期については、別紙3「配管余寿命評価方法」により算出された余寿命に基づき、以下のとおり設定すること。

なお、以下のいずれの場合であっても、算出された余寿命が5年を下回る場合については、「4．算出された余寿命に応じて構ずるべき措置」に従うこと。また、過去の検査結果、故障、トラブル経験等における減肉実績及び、劣化・故障モード等の既存の工学的知見から、特に監視を強化する必要がある部位については、以下に関わらず検査頻度を上げて検査を実施すること。

初回検査時期

配管の供用開始後一定期間内(5年程度)に検査対象箇所(代表部位)^(注1)について検査を行うこと。

(注1) 代表部位には、過去の故障実績、トラブル経験等の運転経験、劣化・故障モード等の既存の工学的知見から著しく顕著な減肉の発生が予想されるとして検査対象箇所を選定した部位も含まれる。

2 回目以降の検査時期

2 回目の検査実施時期の設定に当たっては、初回検査を行った結果、算出された余寿命が5 年を上回る場合については、別紙3「配管余寿命評価方法」により算出された余寿命が5 年となる時期又は、余寿命の $1/2$ が経過する時期^(注2)のいずれか早い時期を次回検査実施時期として設定すること。

以降、同様に n 回目検査の結果に基づき算出された余寿命が5 年となる時期までに n + 1 回目検査の実施時期を設定すること。

なお、算出された余寿命が、次の運転サイクル中に5 年を下回る場合にあっては、次回定期事業者検査を検査実施時期に設定すること。

(注2) 算出された余寿命の $1/2$ が経過する時期を検査実施時期として加えているのは、BWR は検査対象箇所の絞り込みを行っていることから、検査結果を基に速やかに検査対象箇所の見直しを実施する必要があるからである。

4 . 算出された余寿命に応じて構ずるべき措置

配管の健全性確保を確実なものとするためには、ある程度余裕をもって計画的に配管の取替え等の措置を講ずることが必要であることから、別紙3「配管余寿命評価方法」に基づき算出された余寿命に応じ、以下の表に示す措置を講ずること。

なお、検査対象箇所の絞り込みを行った場合であっても、代表部位の算出された余寿命が5 年未満となった以降は、絞り込みを行わず類似箇所も含めて全ての検査対象箇所について以下の表に示す措置を講ずること。

表 算出された余寿命に応じて講ずるべき措置

算出された余寿命	講ずるべき措置
5 年以上	余寿命に応じて、次回の検査実施時期を設定
2 年以上 5 年未満	配管取替え計画の策定及び実施までの間における定期事業者検査ごとの検査
13 ヶ月以上 2 年未満	次回定期事業者検査期間内における配管の取替え
13 ヶ月未満	当該定期事業者検査期間内における配管の取替え

5 . 中期的な検査計画の策定

定期事業者検査として管理対象となる配管に対する肉厚管理を的確に実施するため、中期的(10 年)な検査計画を策定し、検査を実施すること。

特に、PWR プラントについては、「原子力設備2 次系配管肉厚の管理指針(P

WR)」の分類で「その他」に分類される部位、また、BWRプラントについては、代表部位以外に分類される部位に対しても、中期的な検査計画を策定し、計画的に検査を実施すること。

6．本指示文書の適用開始時期

本要請に基づく配管の肉厚管理については、本指示文書発出後、至近に申請される定期事業者検査から実施すること。

ただし、「5．中期的な検査計画」については、本指示文書発出後6ヶ月以内に策定すること。

検査対象箇所の絞込みの実施例

一つの系統の中で2ライン以上の同一構成並列ラインが分岐している場合は、そのうちの1ライン以上を任意に選定 (図1 参照)

- ・ 環境条件(温度、湿り度、流速、溶存酸素濃度等)及び構造条件(口径、肉厚、材質等)が等しく、かつ配管ルート形状、構成等が同等と見なせる複数並列ラインについては、管内流れの乱れの状態も同程度と見なし、そのうち1ライン以上を検査対象ラインとして選定する。

環境条件、構造条件の同等な複数の検査対象箇所については、そのうち任意の1箇所以上を選定 (図2 参照)

- ・ 同一ラインに配置される検査対象箇所等、環境条件(温度、湿り度、流速、溶存酸素濃度等)や構造条件(口径、肉厚、材質等)が同等と見なせる複数の検査対象箇所については、管内流れの乱れの状態も同程度と見なし、そのうち1点以上を検査対象箇所として選定する。

環境条件、構造条件が、ある1つの検査対象箇所で他の部位より厳しいと判断できる場合、当該箇所を検査対象箇所として選定 (図3 参照)

- ・ 同一プラントの異なるライン上の複数の検査対象箇所のうち、環境条件(温度、湿り度、流速、溶存酸素濃度等)、構造条件(口径、肉厚、材質等)から、ある1箇所が他より減肉条件として厳しいと判断できる場合、当該箇所を検査対象箇所として選定する。

図 1 絞込み実施例 1

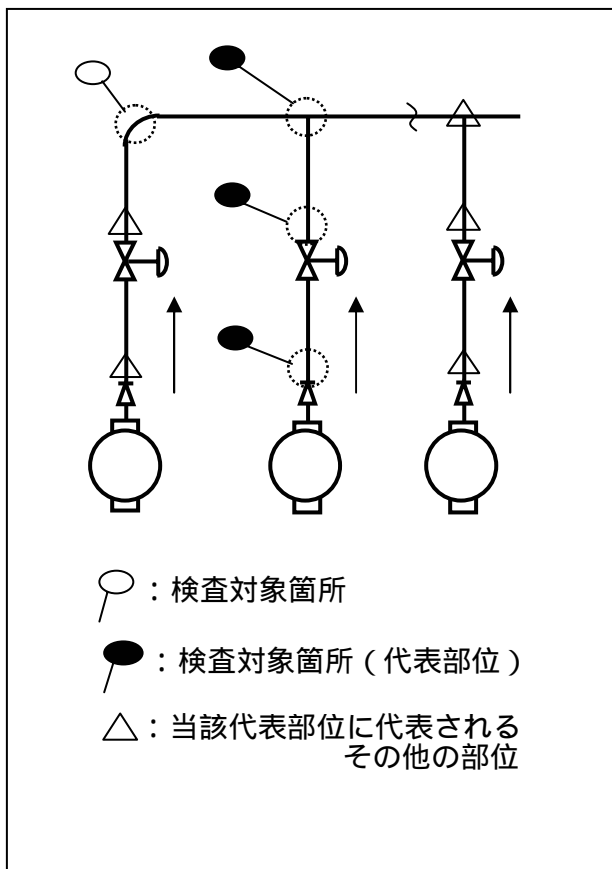


図 2 絞込み実施例 2

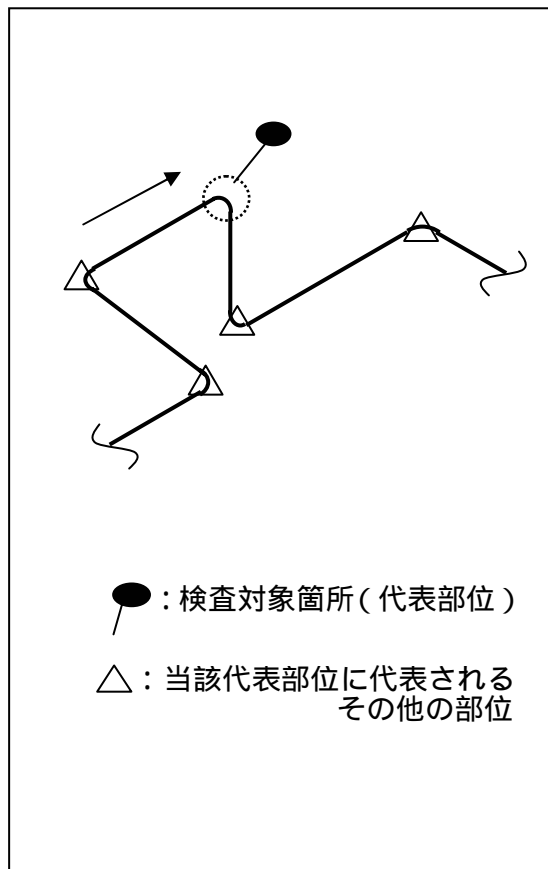
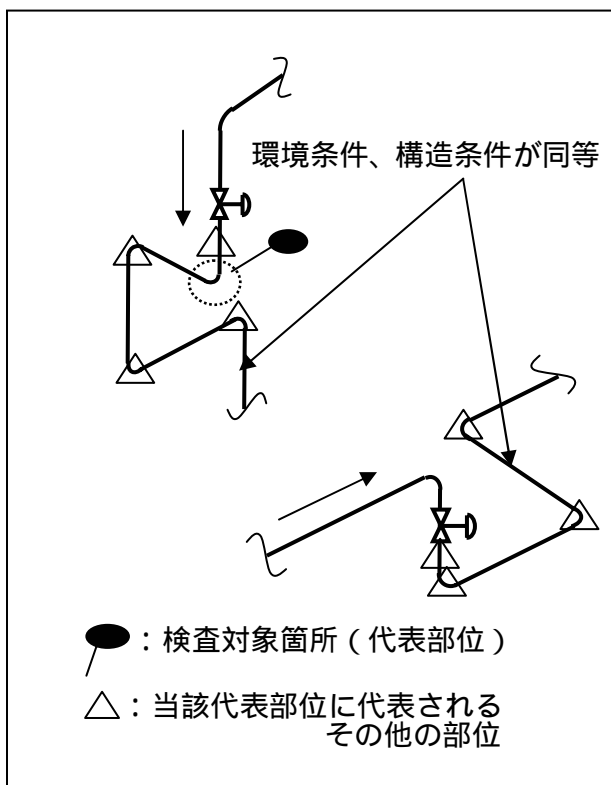
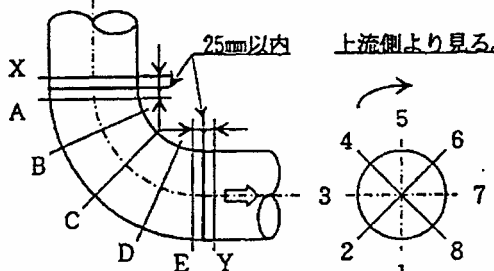
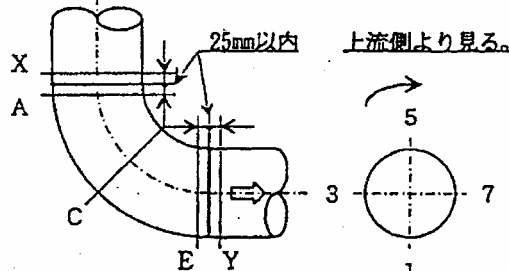
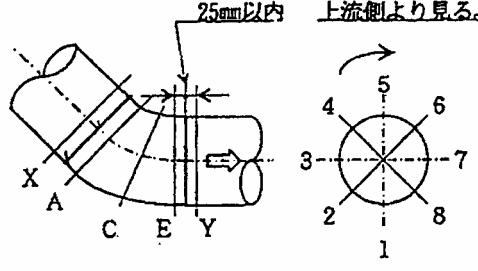
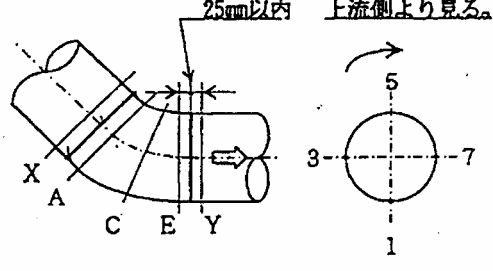
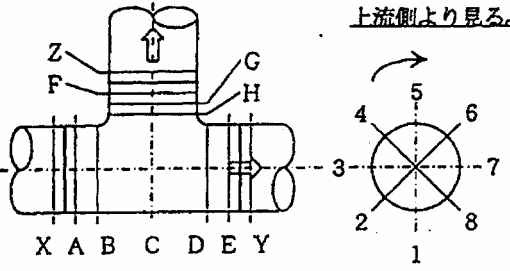
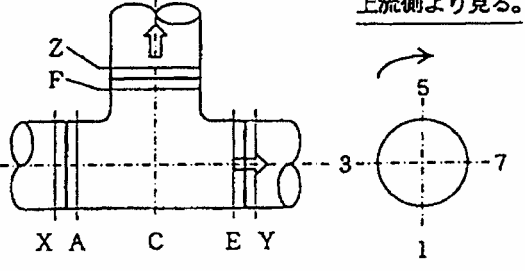
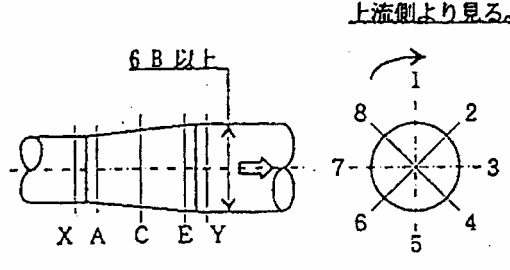
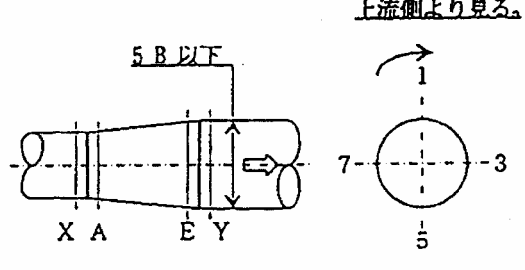


図 3 絞込み実施例 3



測定部位の構造に応じた測定ポイントの設定について

<p>(1) 90° 11$\frac{1}{2}^\circ$ < 5 B を超えるもの ></p>  <p>(注) 溶接線近辺A側に異状を認めた場合、又は予想が出来る場合は、上流側管Xを計測する。</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> 
<p>(2) 45° 11$\frac{1}{2}^\circ$ < 5 B を超えるもの ></p>  <p>(注) 溶接線近辺A側に異状を認めた場合、又は予想が出来る場合は、上流側管Xを計測する。</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> 
<p>(3) チーズ (T管) < 5 B を超えるもの ></p>  <p>(注) 溶接線近辺A側に異状を認めた場合、又は予想が出来る場合は、上流側管Xを計測する。</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> 
<p>(4) レジューサ < 5 B を超えるもの ></p>  <p>(注) 近辺に11$\frac{1}{2}^\circ$、チーズ、がある場合、その背側の位置を、スタート点1とする。又、Xについては(1)項と同じ。</p>	<p>< 5 B 以下(大径側) ></p> 

測定部位の構造に応じた測定ポイントの設定について

<p>(5).直管、短管 < 5 B を超えるもの ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">X A D Y</p> <p>(注) (4)項の図に同じ。但し、なき場合は、上部の位置を、スタート点1とする。又、Xについては(1)項と同じ。</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">X A D Y</p>
<p>(6).弁後直管 < 5 B を超えるもの ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">A B C</p> <p style="text-align: center;">25mm以内 1d 溶接線中心より25mm以内</p> <p>(注) 弁下流後にチズ部がある場合は、肉厚を見るため任意1点計測する。</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">A B C</p> <p style="text-align: center;">25mm以内 1d 溶接線中心より25mm以内</p>
<p>(7).リブ後管 < 5 B を超えるもの ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">A B C D</p> <p style="text-align: center;">3d d d d</p> <p style="text-align: center;">肉厚を見るため任意1点計測する。</p> <p style="text-align: center;">溶接線中心より25mm以内</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">A B C D</p> <p style="text-align: center;">3d d d d</p> <p style="text-align: center;">肉厚を見るため任意1点計測する。</p> <p style="text-align: center;">溶接線中心より25mm以内</p>
<p>(8).曲げ管 < 5 B を超えるもの ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">A B C D E</p> <p style="text-align: center;">曲り始め 曲り終り</p>	<p>< 5 B 以下 ></p> <p style="text-align: center;">上流側より見る。</p> <p style="text-align: center;">A B C D E</p> <p style="text-align: center;">曲り始め 曲り終り</p>

配管余寿命評価方法

配管のある測定部位の余寿命を評価する場合、当該測定部位に係る全測定ポイントにおける減肉率のうち最大のもの（最大減肉率）と当該測定部位に係る全測定ポイントにおける測定肉厚のうち最小のもの（最小測定肉厚）の組み合わせにより算出される余寿命を、当該測定部位の余寿命とすること。

（１）減肉率の算出方法

減肉率は、当該配管の供用開始から当該測定までの測定回数に応じて、以下のとおり算出する。

a．初回測定時（公称肉厚法）

各測定ポイントごとに、公称肉厚と初回測定時の肉厚の差と運転時間から、次式に従って減肉率[mm/hr]を求める。

$$\text{減肉率[mm/hr]} = (\text{公称肉厚} - \text{初回測定肉厚}) [\text{mm}] \\ / (\text{据付時から初回測定時までの運転時間}) [\text{hr}]$$

なお、供用開始前に肉厚測定を行っている場合は、供用開始前の測定値を公称肉厚に代えて算出する。

b．２回目測定時

各測定ポイントごとに、初回測定時と２回目測定時の測定肉厚の差と運転時間から、次式に従って減肉率[mm/hr]を求める。

$$\text{減肉率[mm/hr]} = (\text{初回測定時の肉厚} - \text{２回目測定時の肉厚}) [\text{mm}] \\ / (\text{初回測定時から２回目測定時までの運転時間}) [\text{hr}]$$

なお、供用開始前に肉厚測定を行っている場合は、供用開始前の測定値を含め、
c．の最小自乗法により算出する。

c．３回目以降の測定時（最小自乗法）

各測定ポイントごとに、初回から当該測定時までの、測定肉厚とそれぞれの運転時間を用いて最小自乗法（１次式）により、減肉率[mm/hr]を求める。

なお、供用開始前に肉厚測定を行っている場合は、供用開始前の測定値を含めて算出する。

（２）余寿命の算出方法

余寿命の算出は、各測定部位ごとに、次式に従って実施する。

$$\text{残時間[hr]} = (\text{当該測定時の最小測定肉厚} - \text{必要最小厚さ}) [\text{mm}] \\ / (\text{最大減肉率}) [\text{mm/hr}]$$

$$\text{余寿命[年]} = \text{残時間[hr]} / 8760[\text{hr}]$$

なお、(1) で求めた減肉率が 0 の場合は、残時間の算出はしない。また、残時間が 100 万時間を超える場合は、余寿命の評価対象外とする。

(注 1) PWR プラントにおける初回検査実施時期の設定に使用する余寿命は、以下のとおり算出する。

$$\text{残時間[hr]} \\ = (\text{管の製造上の最小厚さ} - \text{必要最小厚さ}) [\text{mm}] / (\text{初期設定減肉率}) [\text{mm/hr}]$$

$$\text{余寿命[年]} = \text{残時間[hr]} / 8760[\text{hr}]$$

ここで、「管の製造上の最小厚さ」、「必要最小厚さ」は、本文 2 . (2) による。

また、「初期設定減肉率」は、実績等を踏まえて、部位ごとに設定した値を用いること。

なお、供用開始前に肉厚測定を行っている場合は、供用開始前の測定値を「管の製造上の最小厚さ」に代えて算出する。

(注 2) 溶接開先部等、製造上の薄肉部が明かな場合は、当該部位の当該測定ポイント以外の妥当なポイントの測定データを用いてよい。

経 済 産 業 省

平成 16・09・22 原第 17 号

平成 1 6 年 9 月 2 7 日

関西電力株式会社

取締役社長 藤 洋作 殿

経済産業大臣 中川 昭一

美浜発電所 3 号機二次系配管破損事故について

本年 8 月 9 日に発生した貴社美浜発電所 3 号機における二次系配管破損事故は、貴社の安全に対する姿勢に疑いを招いたばかりか、エネルギー供給の基幹をなす原子力そのものに対する国民の信頼を大きく損ない、原子力施設立地地域の住民に不安をもたらす結果となり、誠に遺憾である。特に、5 名の作業員が亡くなり、6 名の作業員が負傷するという、原子力発電所で例をみない重大な結果をもたらしたことは、原子力施設に対する国民の信頼を根本から崩すものであったと言わざるを得ない。

当省は、本事故の重大性に鑑み、事故発生後速やかに事故調査委員会を設置し、事故原因の究明や判明した課題に対する対策の検討などを行い、本日中間とりまとめを行った。本とりまとめにおいて、本事故の直接的原因として、「原子力安全」を組織的に確保するための貴社の品質保証システムや保守管理システムの整備が不十分であったことを明らかにした。具体的には、点検補修が必要な保全対象設備について、計画的な点検を可能とするような点検リストの作成などの体系的、統一的管理システムの整備が不足していた。また、保安活動を行うにあたり、貴社と協力事業者との責任分担が不明確であったほか、不具合情報など保守管理上重要な情報の伝達が適切に行われておらず、協力事業者に対する確かな外注管理が行われていなかった。更に、配管の肉厚管理にあたって不適切な社内規定が用いられていたこと等の問題点もみられた。

当省としては、原子力発電所の安全確保に責任を有する貴社において、品質保証システム等が機能せず、このような事故を発生させたことについて、厳重に注意を行う。

当省は、昨年の制度改正以来、すべての原子力事業者に対し、品質保証システムの徹底した整備を求めてきたところである。新しい制度のもとで、貴社の品質保証システムを確認するために実施した定期安全管理審査の結果、既に貴社美浜発電所 1 号機、高浜発電所 3 号機及び大飯発電所 2 号機に対して、「軽微な不適合事項はあるが、品質保証システムは機能している」と評定していたが、今般明らかとなった問題点に鑑み、これらの評定を取り消し、新たに「重大な不適合事項があり、品質保証システムが機能していない」と評定する。貴社に対しては、再びこのような事故を発生させることがないように、改めて社内の品質保証システムを再検証し、上記のようなシステム上の問題点の根絶を図ることを強く求める。

加えて、当省としては、美浜発電所 3 号機において、二次系配管の技術基準が長期にわたり遵守されない状態にあった問題を重く受けとめ、貴社に対し、技術基準への適合を求めるための技術基準適合命令を発し、同基準に適合していることを当省が確認するまでの間、当該電気工作物の使用を一時停止することを命ずる。

当省は、貴社が本事故を深く反省し、以上のような指摘や処分を踏まえた実効的な再発防止対策を取りまとめ、本年度末までに当省に報告することを求める。

また、当省は、貴社が上記に基づき行う品質保証システム等の改善に向けた取り組みを検証するため、当面、特別な保安検査の実施、定期安全管理審査の特に厳格な実施という行政措置(別紙)を講じる。

なお、当省は、本事故に対しての調査を継続しているところであり、新たな事実が判明した場合には、改めて必要な対応をとることがあることは当然であり、この旨付言する。

1．特別な保安検査の実施

貴社の各原子力発電所は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第37条第5項の規定に基づく国の保安検査の重点検査対象とする。具体的には、貴社が従来自主点検という位置づけで行ってきた二次系配管減肉管理などの保守管理作業内容、更には当該保守管理を行うに当たっての外注管理（調達管理）の実態に焦点を当てた特別な保安検査を行うこととする。

また、貴社から提出される再発防止対策の中で貴社が明らかにした各種対策に対する検証を特別な保安検査の中で行うこととする。

2．定期安全管理審査の特に厳格な実施

貴社の各原子力発電所に係る電気工作物については、電気事業法第55条第4項の規定に基づき、独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「機構」という。）が行う定期安全管理審査の実施に際し、当面の間、従来自主点検として位置づけられていた点検項目を中心に審査を行うよう機構に対し指示することとする。その際、サンプリング対象項目数も通常の審査に比べて増加させるなどして、貴社の定期事業者検査の実施体制に関し、定期安全管理審査を特に厳格に実施するよう機構に求めることとする。

また、貴社から提出される再発防止対策についても、適宜、関係部分の実施状況を確認することとする。

再発防止対策の具体化に際しての必要な要件について

平成 17 年 3 月 14 日
原子力安全・保安院

関西電力は、平成 17 年 3 月 1 日に再発防止に関する報告書を当院に提出した。当院は、3 月 3 日の事故調査委員会にその暫定評価を示したところである。その中で、関西電力が示した再発防止対策の実現に向けたプロセスが具体的に示されていないことから、早急に実現可能性を十分考慮したアクションプログラムを示すべきであることを指摘した。

再発防止対策は、全社的に的確かつ確実に実施され得るものでなければならないことから、アクションプログラムは、先に関西電力が示した詳細な多数の実施計画だけでは不十分である。言い換えれば、アクションプログラムの骨格は、経営層によるコミットメントベースのものである必要があり、そのコミットメントの下で、個々の対策が的確に展開されなければならない。

このため、当院は、3 月 10 日に関西電力に対し、再発防止対策を具体化するために必要な要件を以下のとおり示したところである。関西電力から提出される再発防止対策を評価するにあたっては、これらの要件を念頭に置くこととする。

1. 安全に関するコミットメントについて

「安全の確保が最優先する」との経営方針を組織の実情に即した実現可能なものであって、かつ、職員ひとり一人が日常業務を遂行する上での判断の寄りどころとなる分かりやすく明確であるものに改めること。

報告書に記載されている個々の再発防止対策については、「総花的」との印象を与えかねないことを念頭に置き、経営層のコミットメントは、表面的な事象に捉われることなく、今回の事故で学んだ教訓を十分に踏まえ、具体化した数種類の基本行動方針(マスタープラン)としてまとめること。

基本行動方針には、保守計画立案、実施の過程における安全に関わること、調達業務及び調達管理における安全に関わること、原子力安全に関わる内外への説明責任及び外部評価に関わること、などを含めること。また、個々の再発防止対策は、上記基本行動方針に従って的確に展開されることを明確にすること。

2. ゆとりある原子力の職場づくりのための資源の再配分について

「人、もの、資金、情報、時間」といった主要な経営資源に関して、実状に応じた必要な再配分が継続して行われるものであること。

組織改革に当たっては、その意義を明確にし、的確な組織構成とすること。

定期検査の実施に当たっては、40日定期検査などといった工程優先と現場に誤解を与えかねない風土を一掃し、検査によって確実に安全を確保する「安全優先」の定期検査の実施を保証すること。

高経年化する発電所の安全を確保する上で、発電所が必要とする経営資源を公正かつ確実に配分する仕組みを設けるものであること。

3. 各人による安全基準の宣言・行動について

職員ひとり一人の自発的な行動に過度に依存するのではなく、組織的に実現できる仕組みを設けるものであること。

ポスター、キャンペーン、講演会などの一方的な情報提供は、補助的なものに過ぎず、それらに過度に依存しないものであること。

4. プラントメーカー、協力企業との協業、地域との共生について

プラントメーカーや他のPWR電力と協力し、互いに保有する技術力や情報資源を活用する仕組みを備えたものとする。

保全業務の発注者として、下請各社を含めた協力企業の技術力の向上や高い倫理観を醸成する仕組みを備えたものとする。

立地地域への情報公開の徹底を行うものであること。

5. アクションプランの実施を確実にする仕組みについて

基本行動方針を確実に実行していくため、取り組むべき課題の緊急度、重要度、現組織の能力に応じて、それぞれの実施時期を的確に設定するとともに、平成17年度末には、今回策定した計画の実施状況を的確に評価し、問題点を改善すること。更に、次年度以降これらを繰り返すことによって、継続的に改善していくものであること。

アクションプランの実施状況を、例えば、発電所ごとに設置する外部有識者からなる運営委員会などから評価を受けるなどして、透明性を持った定期的な評価を行う仕組みを備えたものであること。また、上記評価結果について、国民、社会に報告するものであること。