

<添付資料>

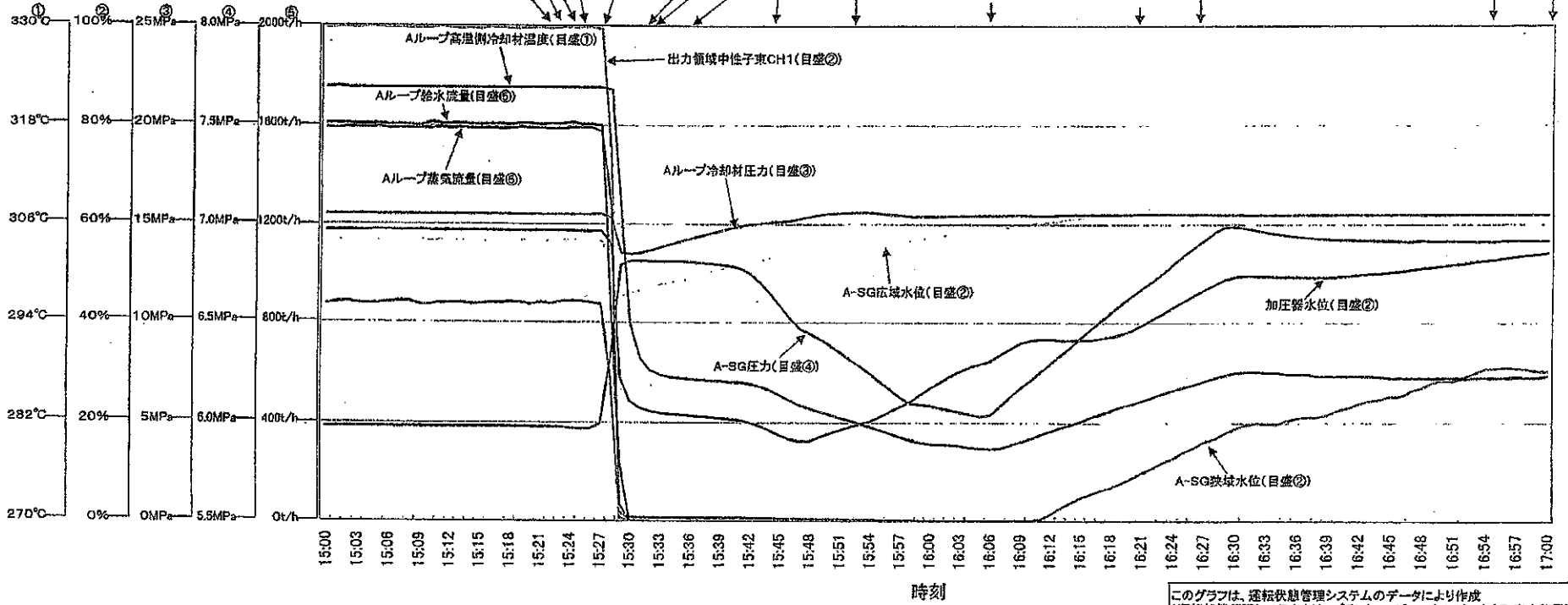
- (添付資料1) 2次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移
- (添付資料2) 事故発生後の原子力保安検査官の対応
- (添付資料3) 美浜発電所3号機2次系配管破損事故の調査結果
- (添付資料4) 「PWR管理指針」の妥当性の検討
- (添付資料5) 大飯発電所1号機主給水配管の減肉事象の概要
- (添付資料6) 電気事業者からの配管肉厚の管理状況に係る報告について原子力安全・保安院が行った検証結果
- (添付資料7) 米国における減肉管理に関する規制について

2次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移

第5回事故調査委員会 参考資料2
(関西電力からの提出資料)より抜粋

パラメータについては、A・B・Cループ共ほぼ同様の挙動を示しているため、Aループ(A蒸気発生器)のみを記載

- 15時22分 「3」直流接地「警報発信
- 15時22分 「火災報知器動作」警報発信
- 15時23分 「3」A直流接地「警報発信
- 15時25分 タービン建屋3階で蒸気圧高確認
- 15時26分 緊急負荷降下
- 15時28分 A・B電動補助給水ポンプ自動起動
- 15時28分 C給水ポンプ自動起動
- 15時28分 原子炉自動停止
- 15時28分 タービン動補助給水ポンプ自動起動
- 15時31分 C給水ポンプ自動停止
- 15時32分 補助給水流量制御弁閉止
- 15時32分 原子炉高温停止状態
- 15時35分 脱気器水位制御弁閉止
- 15時44分 タービン建屋2、3階の蒸気量減少確認
- 16時05分 A・B・C主蒸気隔離弁閉止
- 16時05分 タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替
- 16時20分 タービンランド蒸気を主蒸気から補助蒸気へ切替
- 16時26分 A・B・C主給水隔離弁閉止
- 16時55分 S-G狭域水位が通常無負荷水位回復
- 17時00分 A・B・C-SGプロ「再開

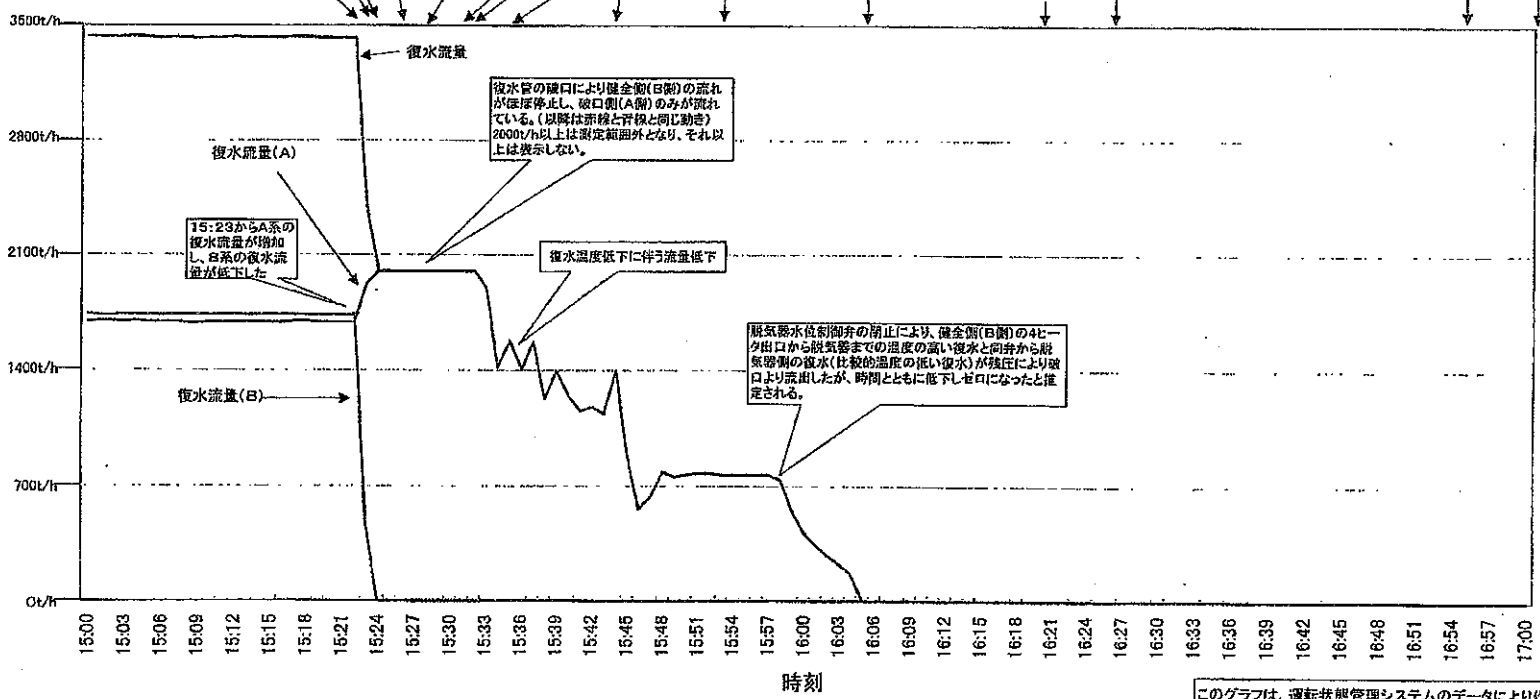


このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
(運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置)

36

- 15時22分 「火災報知器動作」警報発信
- 15時23分 「3A直流接地」警報発信
- 15時25分 「3A直流接地」警報発信
- 15時26分 緊急負荷降下
- 15時28分 タービン建屋3階で蒸気充満確認
- 15時28分 タービン駆補助給水ポンプ自動起動
- 15時28分 原子炉高温停止状態
- 15時31分 補助給水流量制御弁閉止
- 15時31分 C給水ポンプ自動停止
- 15時28分 タービン駆補助給水ポンプ自動起動
- 15時28分 原子炉自動停止
- 15時28分 C給水ポンプ自動起動
- 15時28分 A・B電動補助給水ポンプ自動起動
- 15時28分 A・B給水ポンプ自動停止
- 15時53分 タービン建屋2、3階の蒸気量減少確認
- 16時05分 タービンバイパス弁から主蒸気流がし弁に切替
- 16時05分 A・B・C主蒸気隔離弁閉止
- 16時20分 タービンゲランド蒸気を主蒸気から補助蒸気へ切替
- 16時26分 A・B・C主給水隔離弁閉止
- 16時55分 SG換域水位が通常無負荷水位回復
- 17時00分 A・B・C主給水ポンプ再開

復水流量 = 復水流量(A) + 復水流量(B)
 測定範囲 復水流量(A): 0~2000L/h
 復水流量(B): 0~2000L/h



このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
 (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)

37

＜事故発生後の原子力保安検査官の対応＞

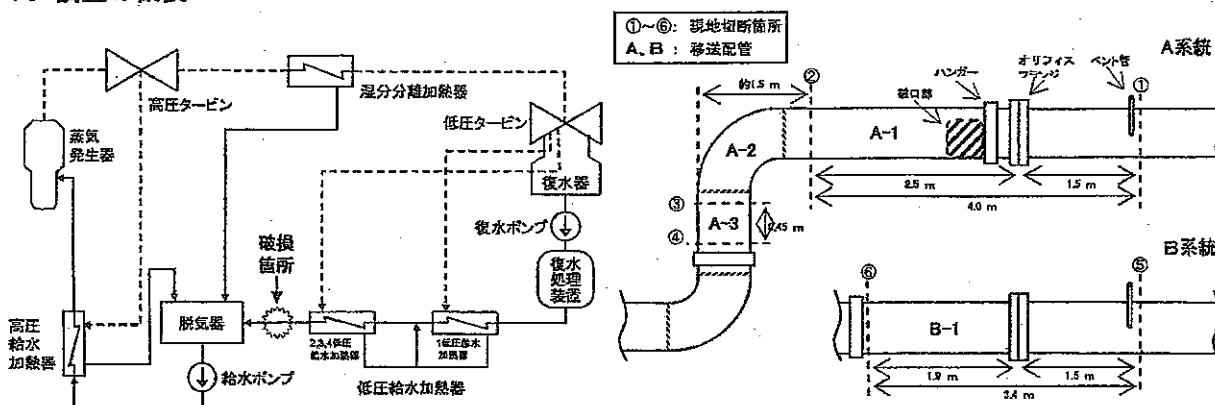
美浜発電所の動き	原子力安全・保安院の現地の対応
<p>8月9日（月）</p> <p>15:22 「火災報知器動作」警報等発信</p> <p>15:25 タービン建屋3階を確認した結果、脱気器側に蒸気が充満していることを運転員が確認</p> <p>15:26 2次系の配管から蒸気又は高温水が漏れいしている可能性が高いと判断し、運転員が緊急負荷降下を開始</p> <p>15:27 運転員がタービン建屋2階エレベータ前で倒れている被災者1名を発見</p> <p>15:28 「3A SG給水<蒸気流量不一致トリップ>」警報が発信し、原子炉、タービンが自動停止</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>15:32 関西電力（株）から原子力安全・保安院（本院、現地原子力保安検査官）へ第1報</p> <p>15:35 プラントの自動停止状態に異常はなく、原子炉は高温停止状態で安定していることを運転員が確認</p> <p>15:53 タービン建屋2，3階の蒸気量減少を運転員が確認</p> <p>16:00 救急車1台目（1名）搬出</p> <p>16:13 救急車2台目（3名）搬出</p>	<p>8月9日（月）</p> <p>15:32 現地原子力保安検査官が、発電所原子力保安検査官室において、第1報を口頭で受け、原子炉の安全性、放射能漏れがないことを確認するよう事業者に指示。現地の駐在原子力保安検査官2名にて状況調査開始</p> <p>15:34 現地原子力保安検査官が、本院原子力防災課及び美浜原子力保安検査官事務所に順次電話で連絡するとともに関係機関に対し情報収集を開始。事業者を負傷者の状況把握を指示</p> <p>16:01 現地原子力保安検査官が、発電所原子力保安検査官室において、原子炉の停止状態に異常がないか随時報告するよう事業者に指示し、放射能漏れがないことを書面で確認し、その情報と負傷者数を本院に連絡</p> <p>16:15 現地原子力保安検査官が発電所原子力保安検査官室において、引き続き、状況を把握するよう事業者に指示し、事業者から続報を書面で確認し、本院に連絡</p>

美浜発電所の動き	原子力安全・保安院の現地の対応
16:20 救急車3台目(2名)搬出	以後、現地原子力保安検査官は、原子炉の停止状態、負傷者の状況を随時報告するよう事業者 に指示し、プラント情報やケガ人情報を随時本 院に報告
16:38 救急車4台目(2名)搬出	
16:46 救急車5台目(2名)搬出、消防 署の車(1名)搬出	
17:30 運転員がタービン建屋内の点検を 実施した結果、タービン建屋2階の脱気 器側の天井付近にある第4 低圧給水加 熱器から脱気器へ至るA系の復水配管 に破口部を確認	18:45 消防の安全宣言が発出されたことから、現 地原子力保安検査官がタービン建屋内に入り、 現場確認
19:00 タービン建屋内で他の負傷者なし を消防が確認	19:05 現地原子力保安検査官が、復水配管が破口 していることを確認するとともに写真を撮影
	20:50 当院審議官の美浜事務所到着と同時に、経 済産業省現地事故対策本部を設置
	21:00 現地対策本部が設置された旨、県、町に連 絡
	21:20 頃 現地原子力保安検査官が中央制御室の 状況及びプラントの状態の確認後、本院へ報告
	21:30 3地点TV会議実施(福井県、現地対策本 部、保安院本院)
	22:10 2地点TV会議実施(福井県、現地対策本部)
23:30 運転員が原子炉の低温停止操作を 開始	

(美浜発電所の動きについては、関西電力㈱からの報告に基づき作成)

＜美浜発電所 3号機 2次系配管破損事故の調査結果＞

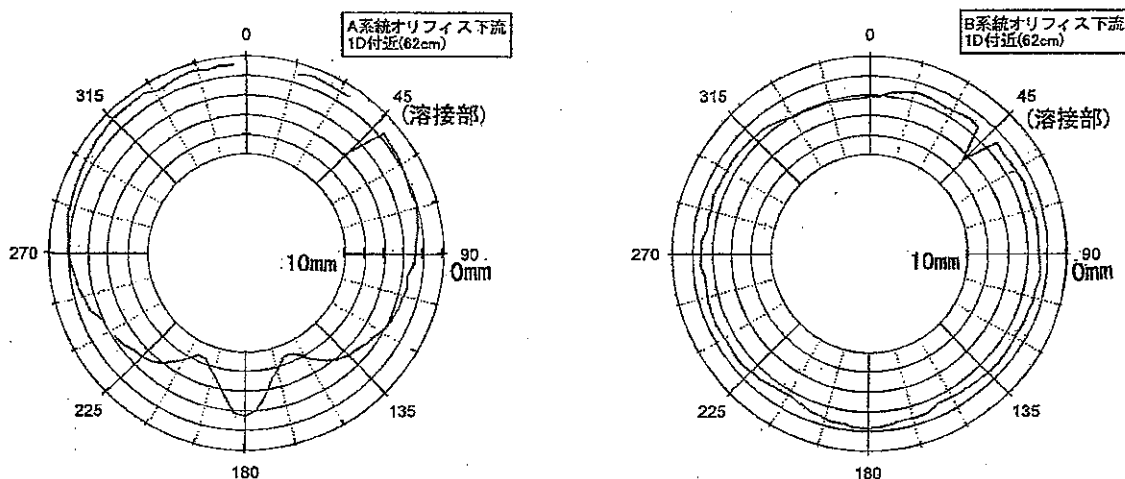
1. 調査の概要



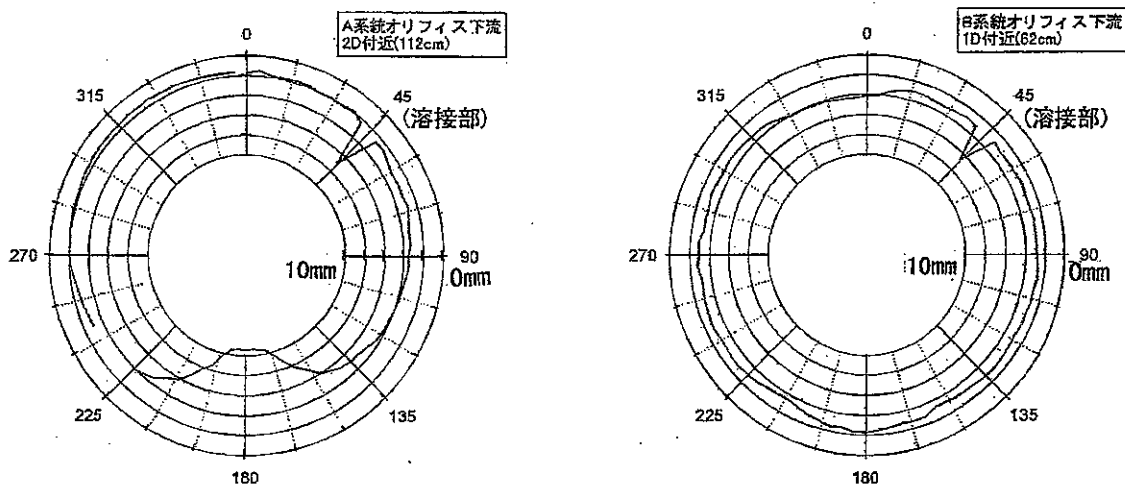
主要データ

- (1) オリフィス下流配管 材料: JIS G3103 SB42、口径 (以後Dとする): 約 560mm、肉厚: 約 10mm
- (2) 運転時流体条件 流量: 約 1,700t/h、圧力: 約 0.93MPa (10kgf/cm²)、温度: 142°C、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



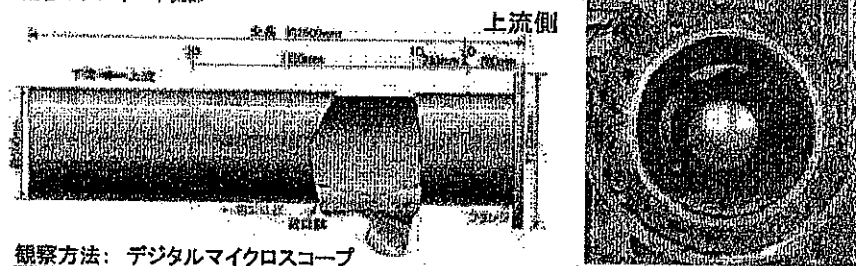
オリフィス下流端から 2D 付近

A-1 配管オリフィス下流部の減肉状況

B-1 配管オリフィス下流部の減肉状況

3. 配管内面観察結果

A-1配管オリフィス下流部



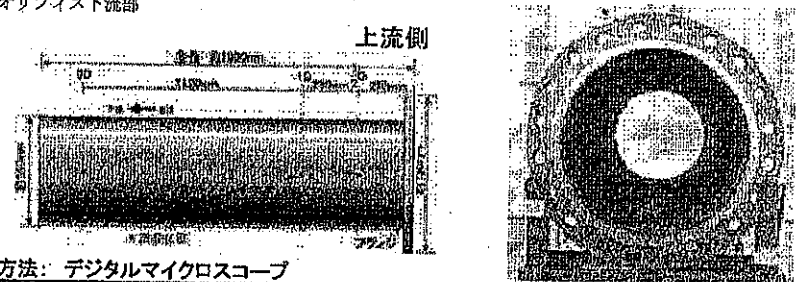
観察方法: デジタルマイクロスコープ

	3D	1D	1/2D
0° (上)			
90°			
180° (下)			
270°			

注)色は撮影状態等により変わります。

まとめ: A-1配管オリフィス下流部下面(180° の3Dおよび1/2D)以外の部分で鱗片状模様が観察された。

B-1配管オリフィス下流部



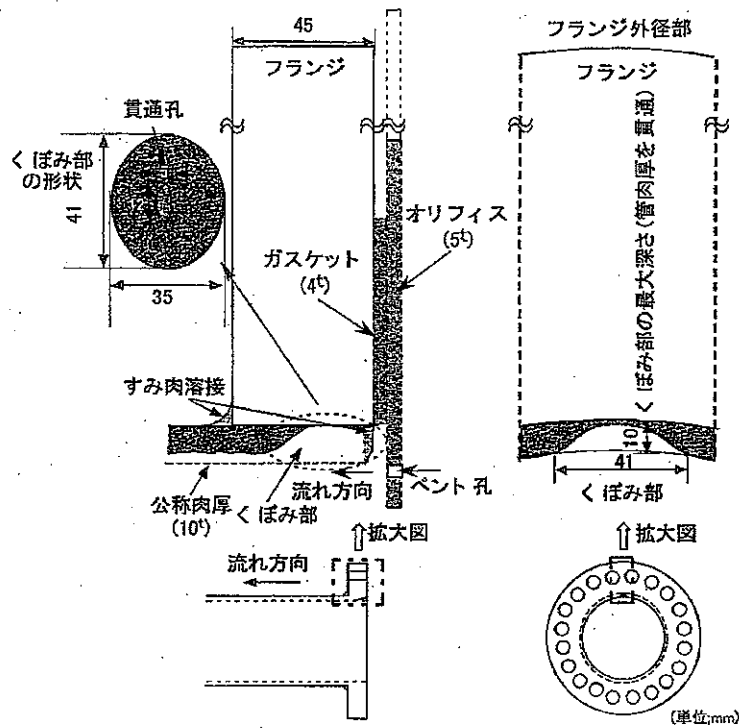
観察方法: デジタルマイクロスコープ

	3D	1D	1/2D
0° (上)			
90°			
180° (下)			
270°			

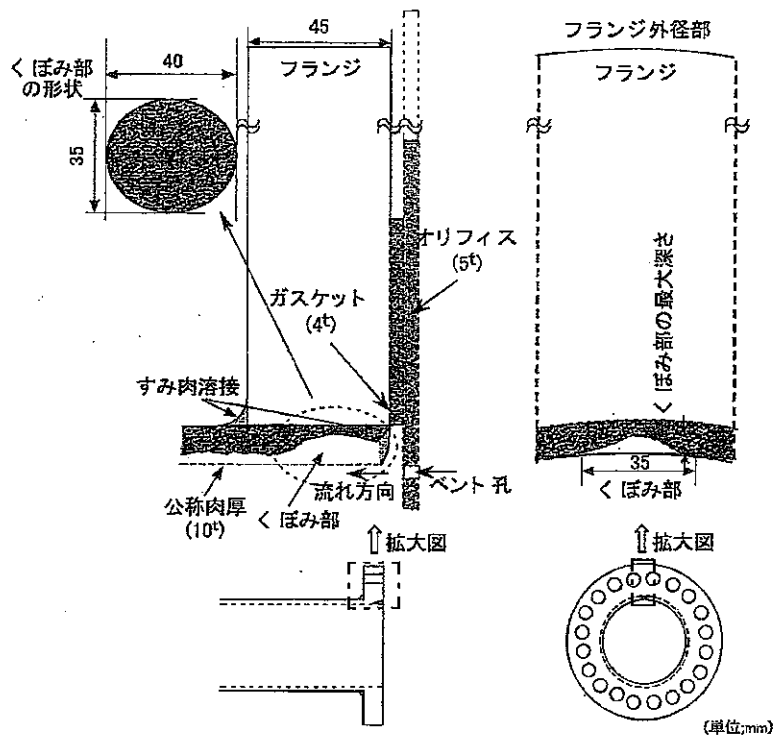
注)色は撮影状態等により変わります。

まとめ: B-1配管オリフィス下流部において鱗片状模様が観察された。

4. ベント孔下流の状況



A系オリフィス下流側フランジ



B系オリフィス下流側フランジ

出典：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

「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、レギュレーサ、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高圧ヒータドレン管、第5高圧ヒータドレン管	主要点検部位全てに適用する。
			200-250℃	湿水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℃	スチーム・コンバータ加熱蒸気管	
		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高圧ヒータ空気抜管、第5高圧ヒータ空気抜管	
			250℃以上	湿水分離加熱器バランス管	
30-50m/sec		150-200℃	—		
		200-250℃	—		
		250℃以上	湿水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℃	給水ブースターポンプ吸込管、湿水分離器ドレン管	
		3-6m/sec	100-150℃	—	
			150-200℃	主給水管、給水ブー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低圧ヒータドレン管	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

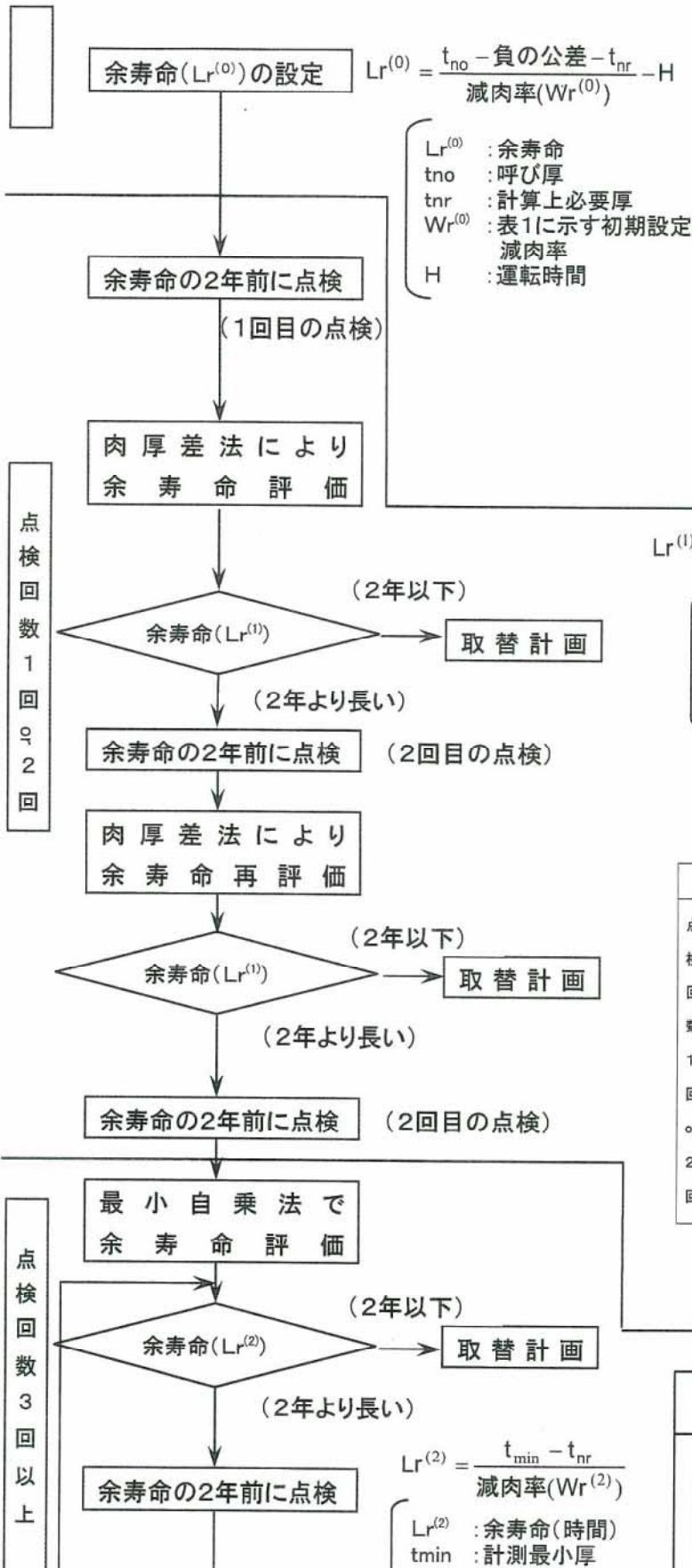


表-1 Lr⁽⁰⁾設定に使用のWr⁽⁰⁾の値

		温度				
		100°C未満	100°C ~ 150°C	150°C ~ 200°C	200°C ~ 250°C	250°C以上
二相流 過り度 15%以上	流速		① 0.30		② 0.35	
	30m/s未満				③ 1.15	
	30m/s ~ 50m/s					
二相流 過り度 5~15%	流速				④ 0.35	
	30m/s未満					
	30m/s ~ 50m/s				⑤ 1.15	
二相流 過り度 5%未満 (ドレン巻込みの可能性有り)	流速				⑥ 0.35	
	30m/s未満					
	30m/s ~ 50m/s				⑦ 1.15	
水単相流	流速		⑧ 0.45		⑨ 0.30	
	3m/s未満					
	3m/s ~ 6m/s					
	6m/s以上					

注1: Wr⁽⁰⁾の単位は ×10⁻⁴mm²/hr
 2: 表-1の範囲
 (1) 制御弁下流部は表中の数値に5倍する
 (2) 玉型弁下流部は表中の数値に2倍する

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

Lr⁽¹⁾ : 余寿命(時間)
 tmin : 計測最小厚
 tnr : 計算上必要厚
 Wr⁽¹⁾ : 表-2の方法による

表-2 Lr⁽¹⁾設定に使用のWr⁽¹⁾の値

方法区分 (対象部位)	減肉率算出要領
点検回数 1 or 2 回	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⁾ = (管軸方向最大厚さ) / 運転時間 最大肉厚差 = tmax - tmin
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⁾ = (管軸方向最大厚さ) / 運転時間 最大肉厚差 = tmax - tmin
公称肉厚法 (レジューサ [※] 、直管 [※])	Wr ⁽¹⁾ = (呼び厚 - 計測最小厚) / 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 Lr⁽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。 計測肉厚 運転時間

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、 $0.47 \times 10^{-4} \text{ mm/yr}$ となり、当該部の同指針における初期設定減肉率 $0.45 \times 10^{-4} \text{ mm/yr}$ 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

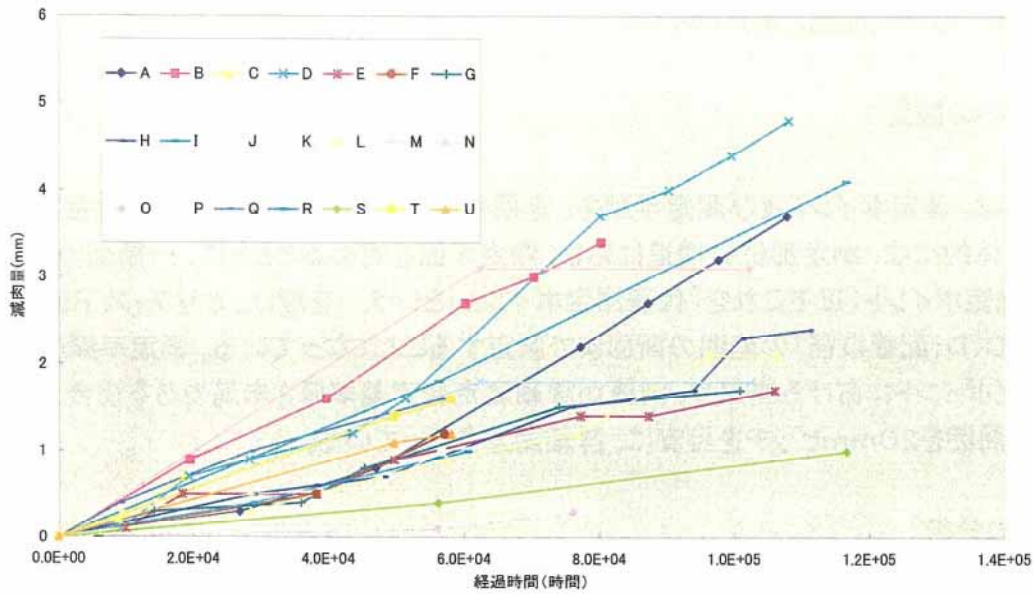
(1) 使用されている管理手法

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(°C)	流速(m/s)	湿り度	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	⑨
B	主復水管	直管(オリフィス下流)	SB42	145	3.0	水	0.43	⑧
C	主復水管	直管(オリフィス下流)	SB42	147	4.0	水	0.41	⑧
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	⑧
F	主給水管	90°エルボ	SB49	190	5.1	水	0.42	⑧
G	復水系統	90°エルボ	SB42	132	3未満	水	0.30	⑧
H	復水系統	90°エルボ	STPT38	147	3未満	水	0.30	⑧
I	復水系統	T管	SB410	148	3~6	水	0.18	⑧
J	高・低圧ベントリン系統	曲管	PG370	187	3未満	水	0.26	⑧
K	高・低圧ベントリン系統	レジューサ	SB42	191	3未満	水	0.17	⑧
L	給水系統	90°エルボ	SB42	189	3~6	水	0.24	⑧
M	給水ポンプミナムフロー管	90°エルボ	STPT38	182	2.3	水	0.19	⑧
N	給水ポンプミナムフロー管	下流管	STPT38	182	2.3	水	0.32	⑧
O	主給水管	直管(制御弁下流)	STPT49	221以下	0.0	水	0.04	⑧
P	復水管	T管(母管側)	SB42	151	3.7(母管側)	水	0.10	⑧
Q	復水管	T管(枝管側)	STPT38	151	3.7(母管側)	水	0.28	⑧
R	主給水プースターポンプ吐出管	90°エルボ	SB42	188	5.7	水	0.35	⑧
S	主給水プースターポンプ吐出管	下流管	SB42	188	5.7	水	0.09	⑧
T	湿分分離加熱第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	⑦
U	湿分分離加熱第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	⑦

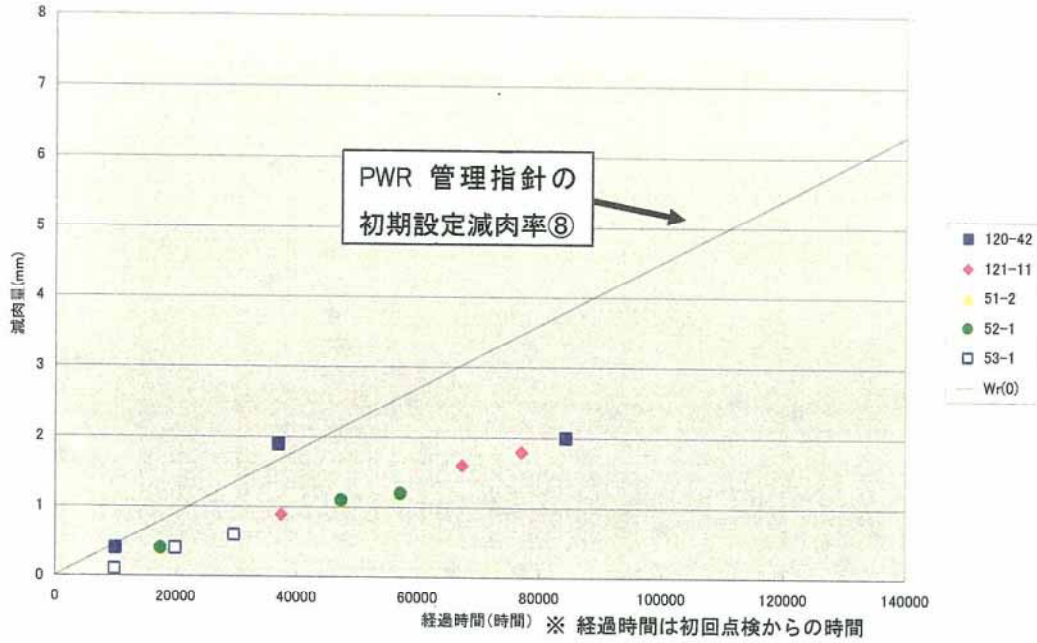
(注)PWR 管理指針の初期設定減肉率

減肉率平均値: 0.26×10^{-4} mm/Hr

		温度			
		100°C未満	100°C ~150°C	150°C ~200°C	200°C ~250°C 250°C以上
二相流 湿り度 15%以上	流速	30m/s未満	① 0.30	② 0.35	
		30m/s ~50m/s		③ 1.15	
		50m/s以上			
二相流 湿り度 5~15%	流速	30m/s未満		④ 0.35	
		30m/s ~50m/s		⑤ 1.15	
		50m/s以上			
二相流 湿り度 5%未満 (ドレン巻込み の可能性がある)	流速	30m/s未満		⑥ 0.35	
		30m/s ~50m/s		⑦ 1.15	
		50m/s以上			
水単相流	流速	3m/s未満	⑧ 0.45	⑨ 0.30	
		3m/s ~6m/s		制御弁下流 部及び玉戻 逆止弁下流 部のみ	
		6m/s以上			

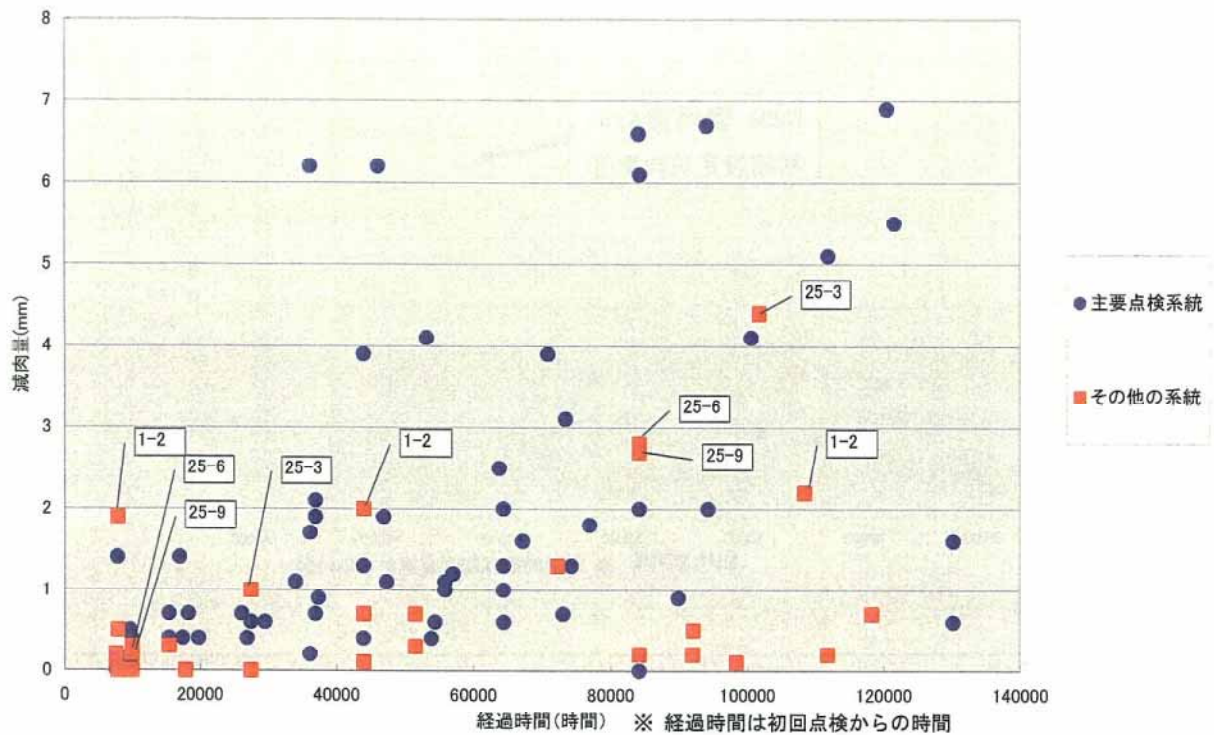
注) 1)PWRの単位は $\times 10^{-4}$ mm/Hr
2)点検部位の範囲
(1)制御弁下流部は表中の数値に5倍する
(2)玉戻逆止弁下流部は表中の数値に2倍する

図2 PWR 配管減肉測定部位と減肉傾向



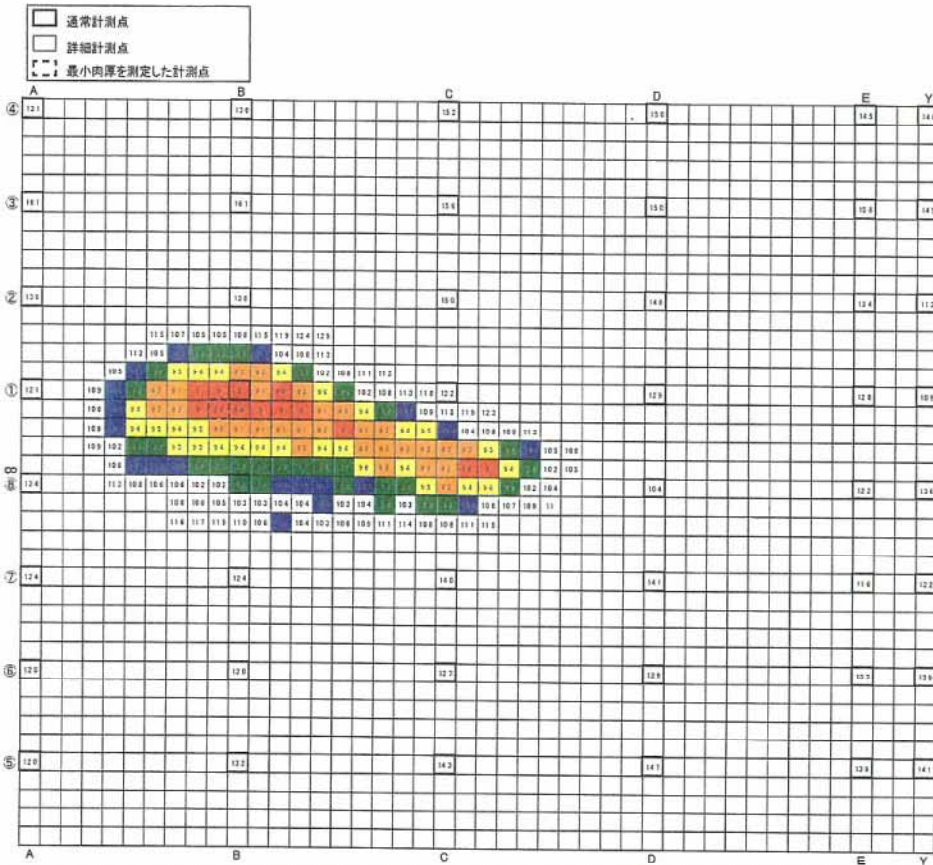
番号	系統	点検部位	材質	湿度	流速(m/s)	温度(°C)	Wr(0) ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	減肉率実測値 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)/mm
120-42	給水ブースターポンプ吸込管	エルボ	STPT38	水	3未満	150-200	0.45	0.239
121-11	給水ブースターポンプ吸込管	エルボ	SB42	水	3未満	150-200	0.45	0.242
51-2	湿水分離器ドレン管	エルボ	STPT38	水	3未満	150-200	0.45	0.22
52-1	湿水分離器ドレン管	エルボ	STPT38	水	3未満	100-150	0.45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

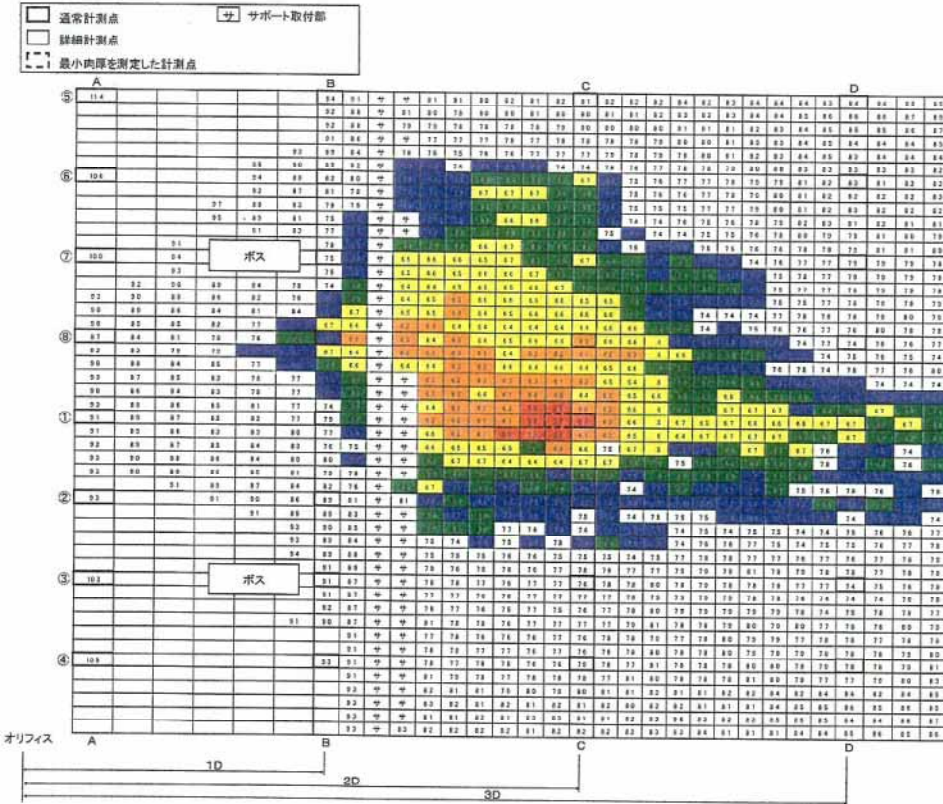
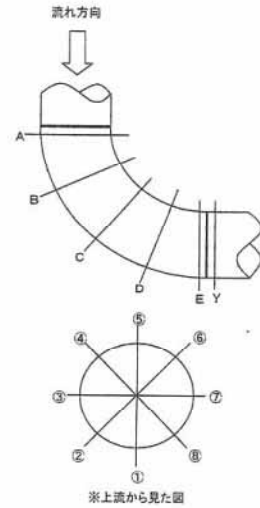


番号	系統	点検部位	材質	湿り度	流速(m/s)	温度(°C)	減肉率実測値 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)mm
1-2	第3抽気管	T管	STPT38	5%未満	30-50	100-150	0.266
15-1	タービンバイパス管	レジャーサ	STPT39	5%未満	30未満	250以上	0.075
16-5	タービンバイパス管	レジャーサ	STPT40	5%未満	30未満	250以上	0.024
17-2	湿分分離器加熱蒸気管	エルボ	STPT41	5%未満	30-50	250以上	0.02
19-1	湿分分離器加熱蒸気管	エルボ	STPT42	5%未満	30-50	250以上	0.135
20-7	湿分分離器加熱蒸気管	レジャーサ	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	タービングランド蒸気管	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



対象プラント	美浜3号機
部位名	NO2ヒータドレン管エルボ
スケルトンNo-部位No	25-3
測定時期	2000.7(第18回定期検)
運転時間	155928時間
材	STPT38
最高使用圧力	-0.10MPa
最高使用温度	85℃
外径	267.4mm
呼び厚さ	15.1mm
判定基準厚さ	10.1mm
計算必要厚さ	3.8mm
管理指針上の分類	その他



対象プラント	美浜3号機
部位名	MSドレンポンプ吐出管オリフィス下流部
スケルトンNo-部位No	75-6
測定時期	2002.1(第19回定期検)
運転時間	165947時間
材	STPT38
最高使用圧力	1.57MPa
最高使用温度	135℃
外径	318.5mm
呼び厚さ	10.3mm
判定基準厚さ	7.3mm
計算必要厚さ	3.8mm
管理指針上の分類	⑧

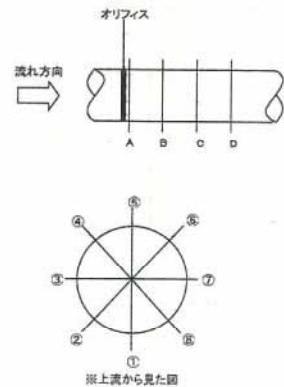
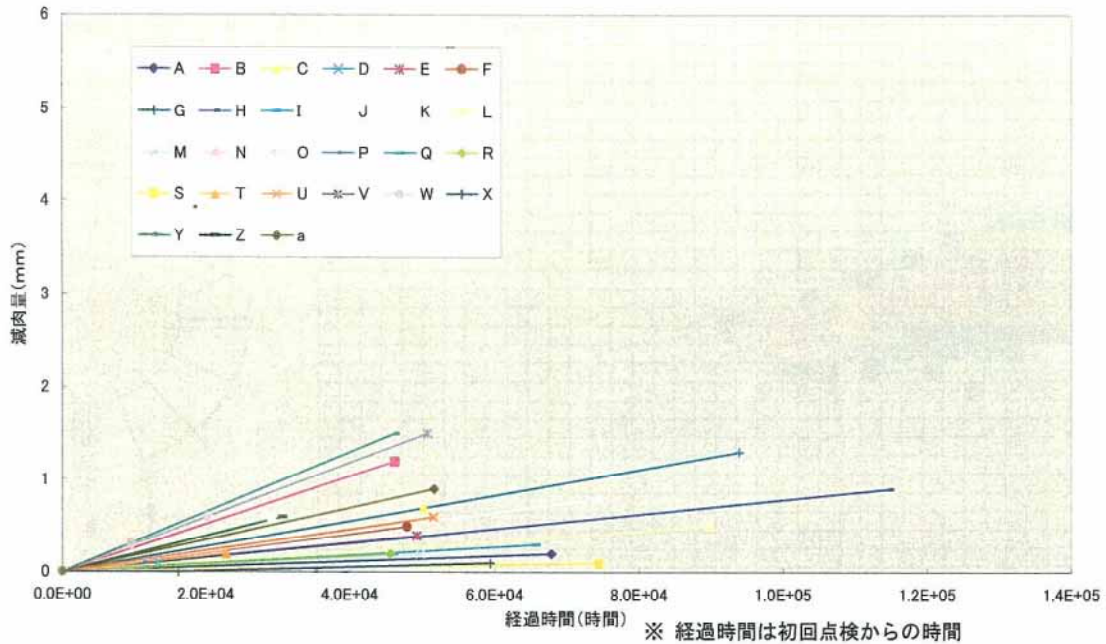


図5 美浜3号機測定結果(例)

BWR減肉トレンド



番号	点検部位	材質	温度(°C)	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ミクロ弁後弁下流エルボ	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ミクロ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ミクロ弁下流レギュサ	SF50A	144	5.1	水	0.08
M	復水ポンプ吐出流量調整弁下流レギュサ	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ミクロライン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	抽気系レギュサ	SB46	207		1.5%以上	0.30
W	給水系フローバル下流直管	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ている。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。

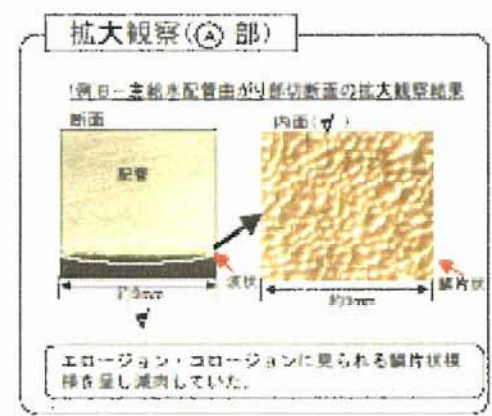
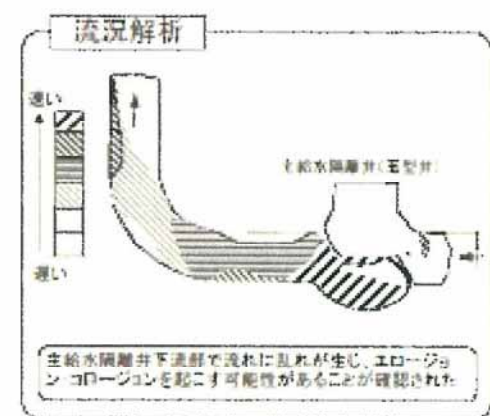
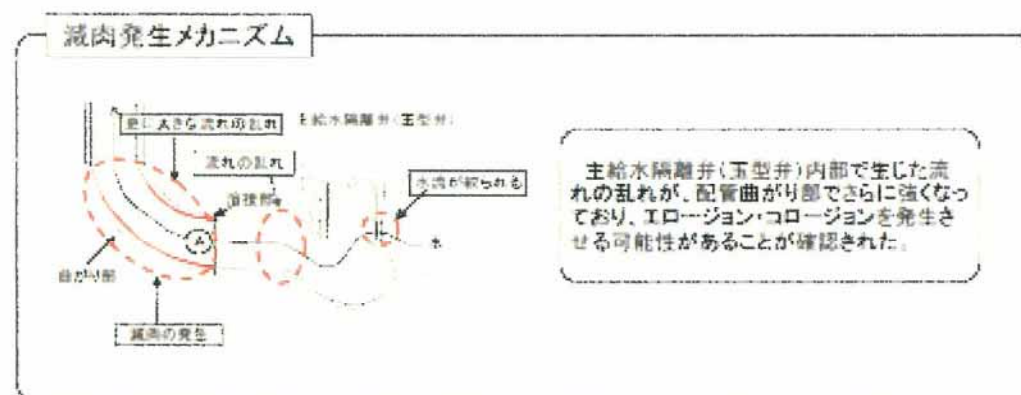
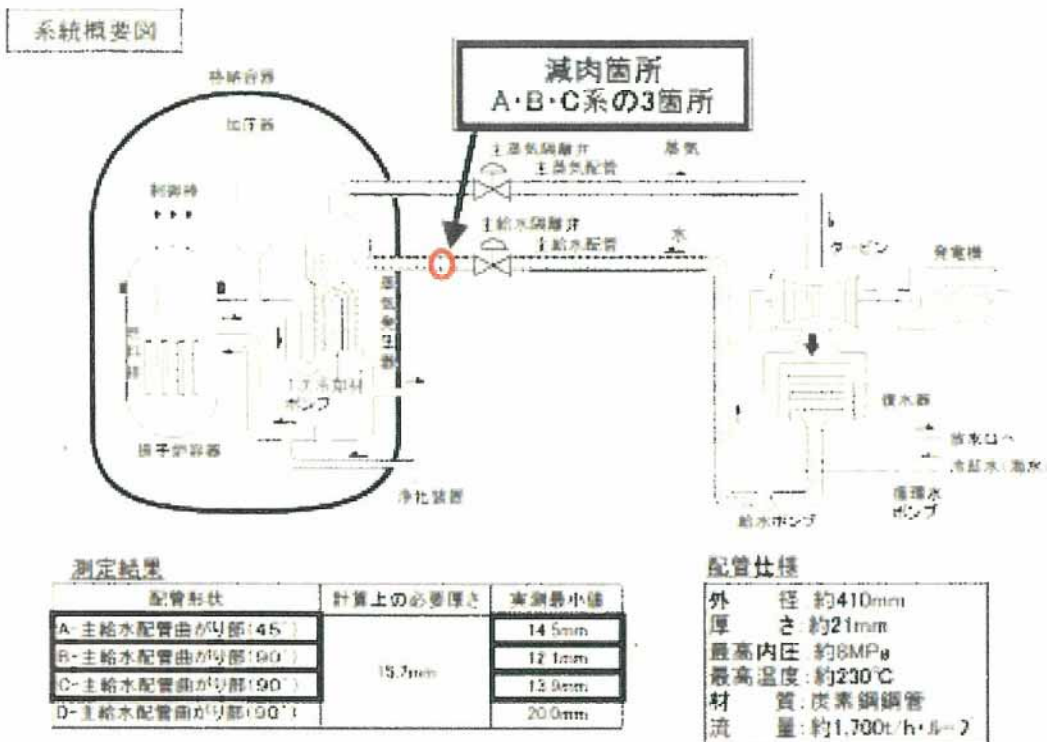


図 大飯発電所1号機二次系主給水配管エルボ部の減肉の調査結果

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	グランド蒸気系統、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)	

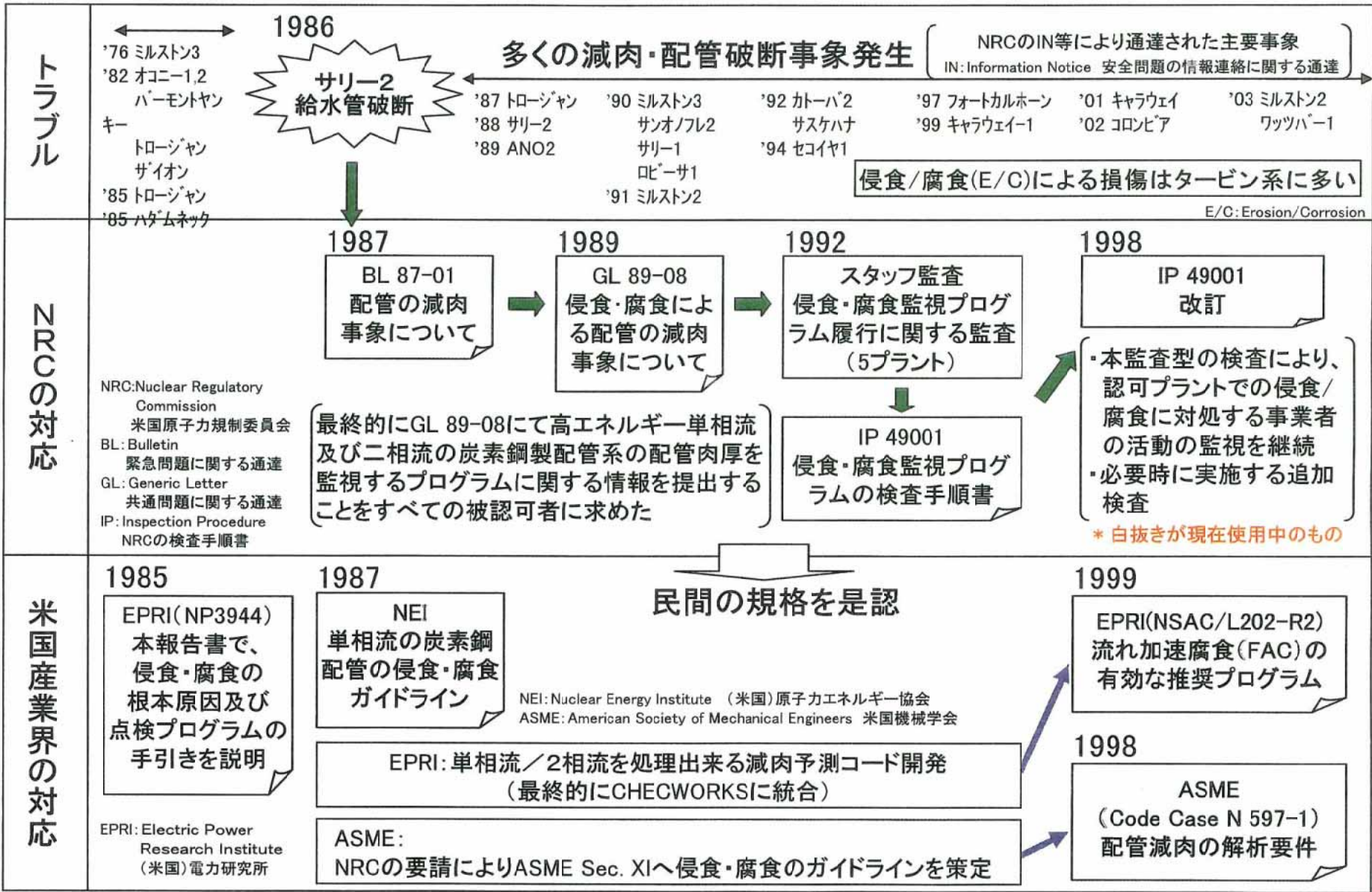
(*1)「指示に基づく確認後」: PWR管理指針と比較した上で、点検対象部位を見直した結果の総点検部位数

(*2)「点検済」: 報告時点で点検実施済みの部位数

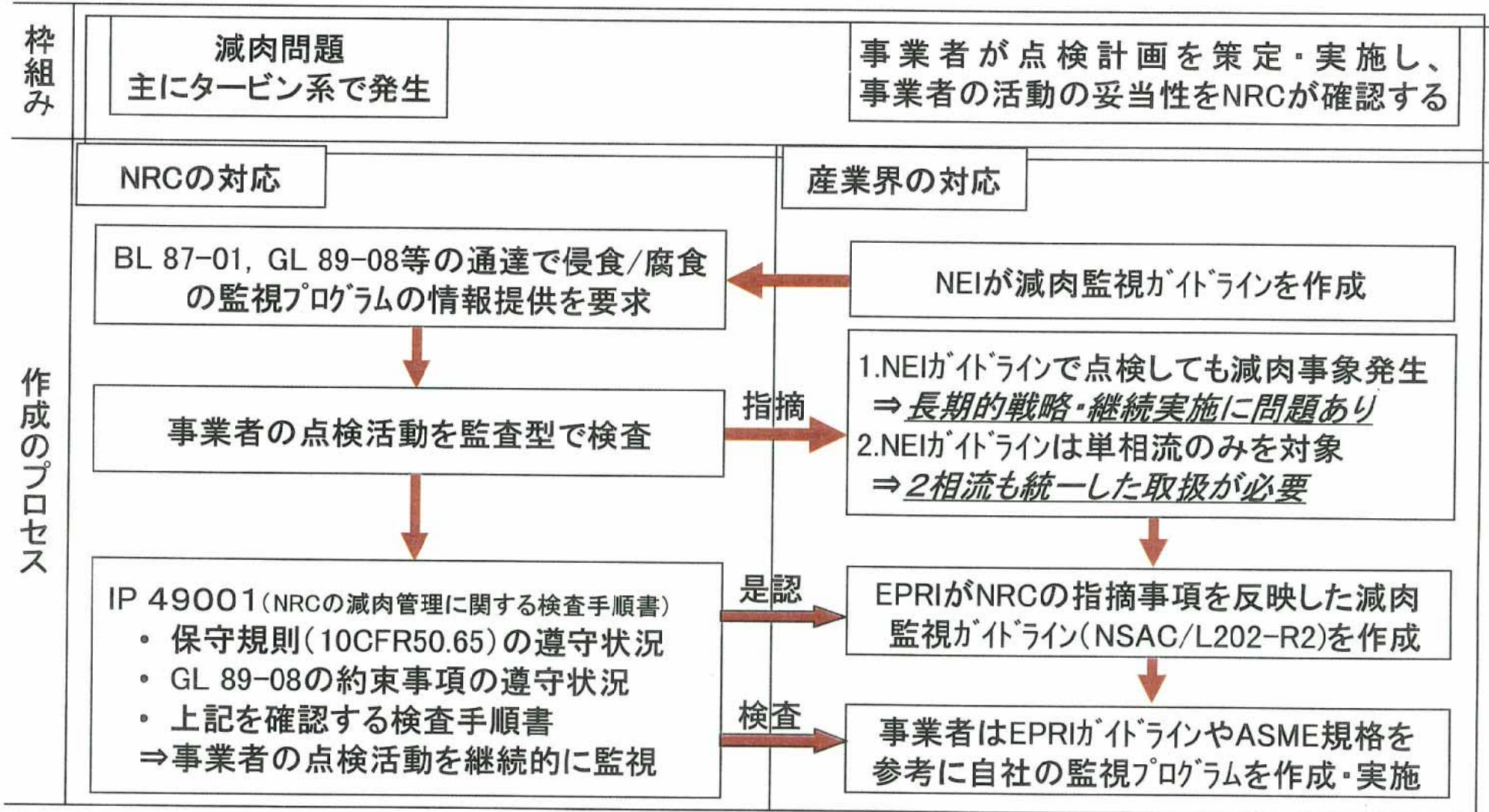
(*3)「代表点検部で評価済み等」: サンプル点検で管理できると判断された範囲の内、代表点検部以外の部位数及び今後点検を予定している部位数、並びに、低合金鋼適用済部位数

(*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

米国における減肉管理に関する規制について



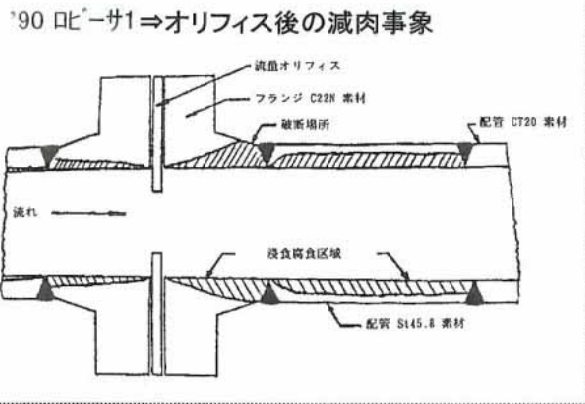
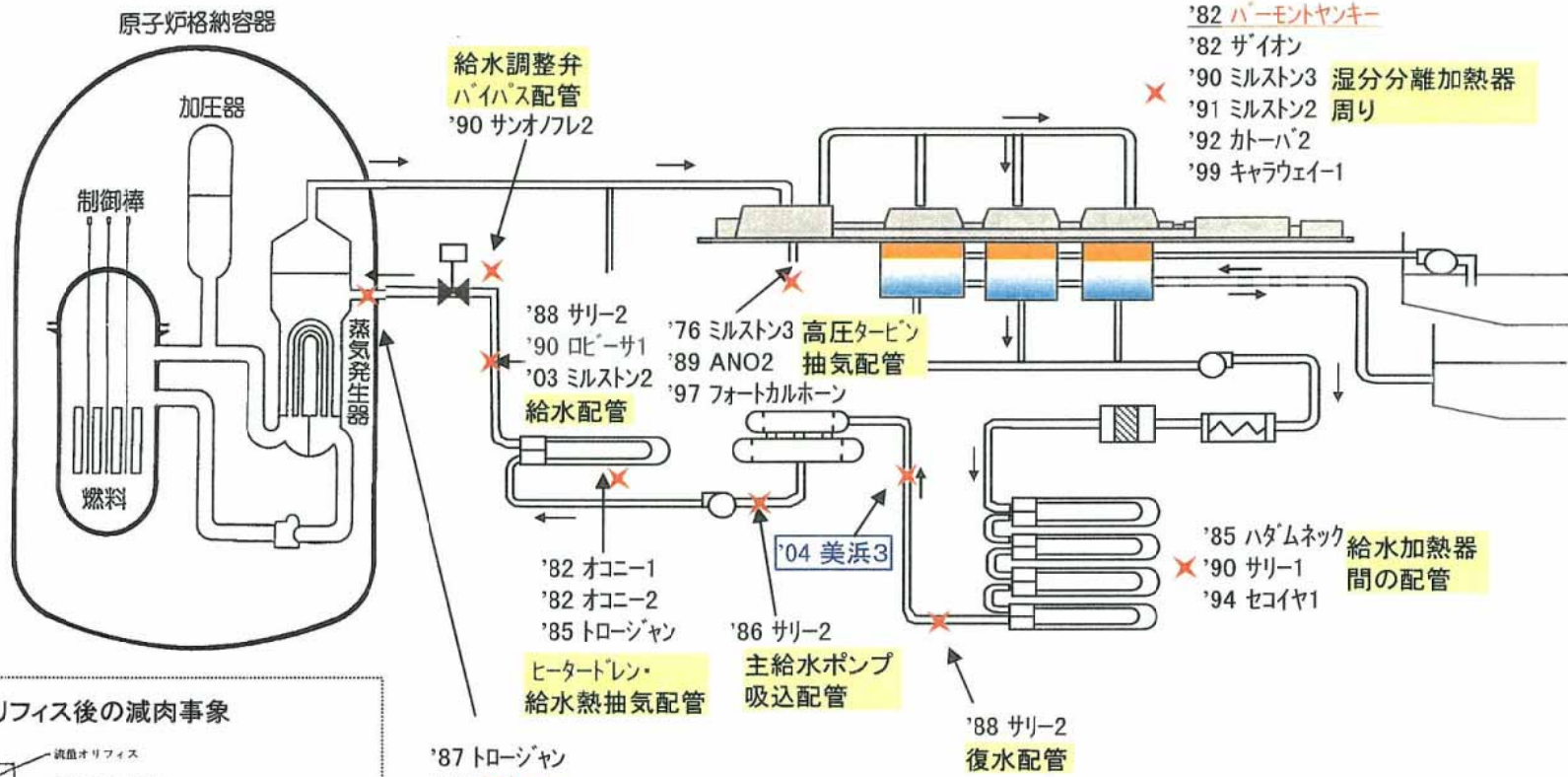
減肉管理に関する規制の枠組みとその作成のプロセス



*保守規則 {

- ・ 保守管理の有効性を自主監視することを要求(10CFR50.65)
- ・ 各事業者は上記民間規格に従って保全計画を立案、NRCはこれを検査

(参考)海外の配管減肉発生箇所



'87 トロージャン
'92 サスケハナ
'01 キャラウェイ
'03 ワッツバー1
格納容器内給水配管

× '02 コロンビア
サービス水配管

'YY プラント名 ⇒ 発生年及びPWRを示す
'YY プラント名 ⇒ 発生年及びBWRを示す
なお、上図はPWRであるが、BWRの事例も
ほぼ対応する部分に記載した

57