

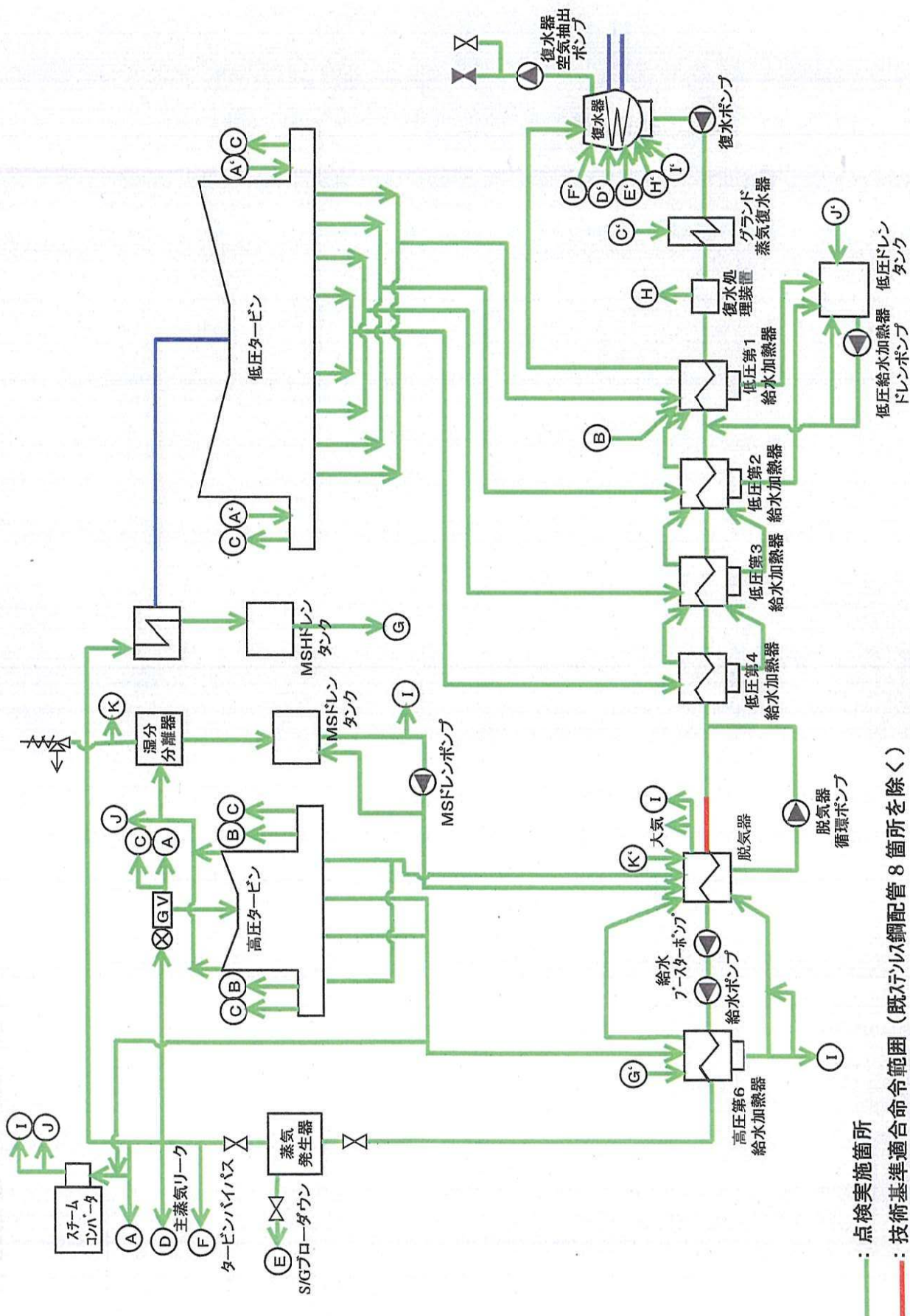
説明資料

1	点検結果および対応	
①	点検範囲	1
②	点検結果	5
③	点検結果に対する対応	6
2	点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）	
④	減肉原因	1 1
⑤	新たな減肉発生系統について	1 5
⑥	偏流箇所に関する知見	2 1
⑦	低合金鋼、ステンレス鋼の減肉	2 3
⑧	2 B 以下の小口径配管の減肉	2 6
⑨	測定ポイント数および軸方向測定範囲	2 8
⑩	初期設定減肉率	3 1
⑪	余寿命に応じて講ずるべき処置	3 3
⑫	管理指針の妥当性	3 5
⑬	当社他プラントの点検結果の反映	3 7

項 目	1 点検結果および対応
① 点検範囲 ・原子力発電所の2次系冷却水の流れる範囲について、エロージョン・コロージョンによる減肉発生傾向、あるいはその恐れのある全ての箇所を対象として肉厚測定を実施 ・上記に加え、知見拡充の観点において、耐エロージョン・コロージョン性に優れているステンレス鋼、ならびに常時流れがない箇所等、現状で減肉発生の知見のない箇所についても肉厚測定を実施 (添付資料－1、2 参照)	

美浜3号機点検範囲について

美浜3号機 2次系配管点検系統図

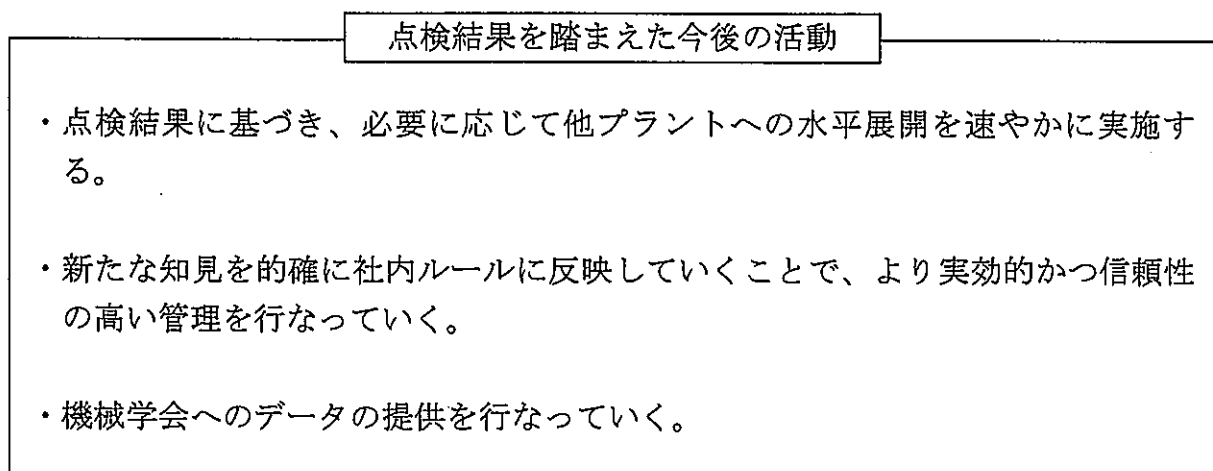
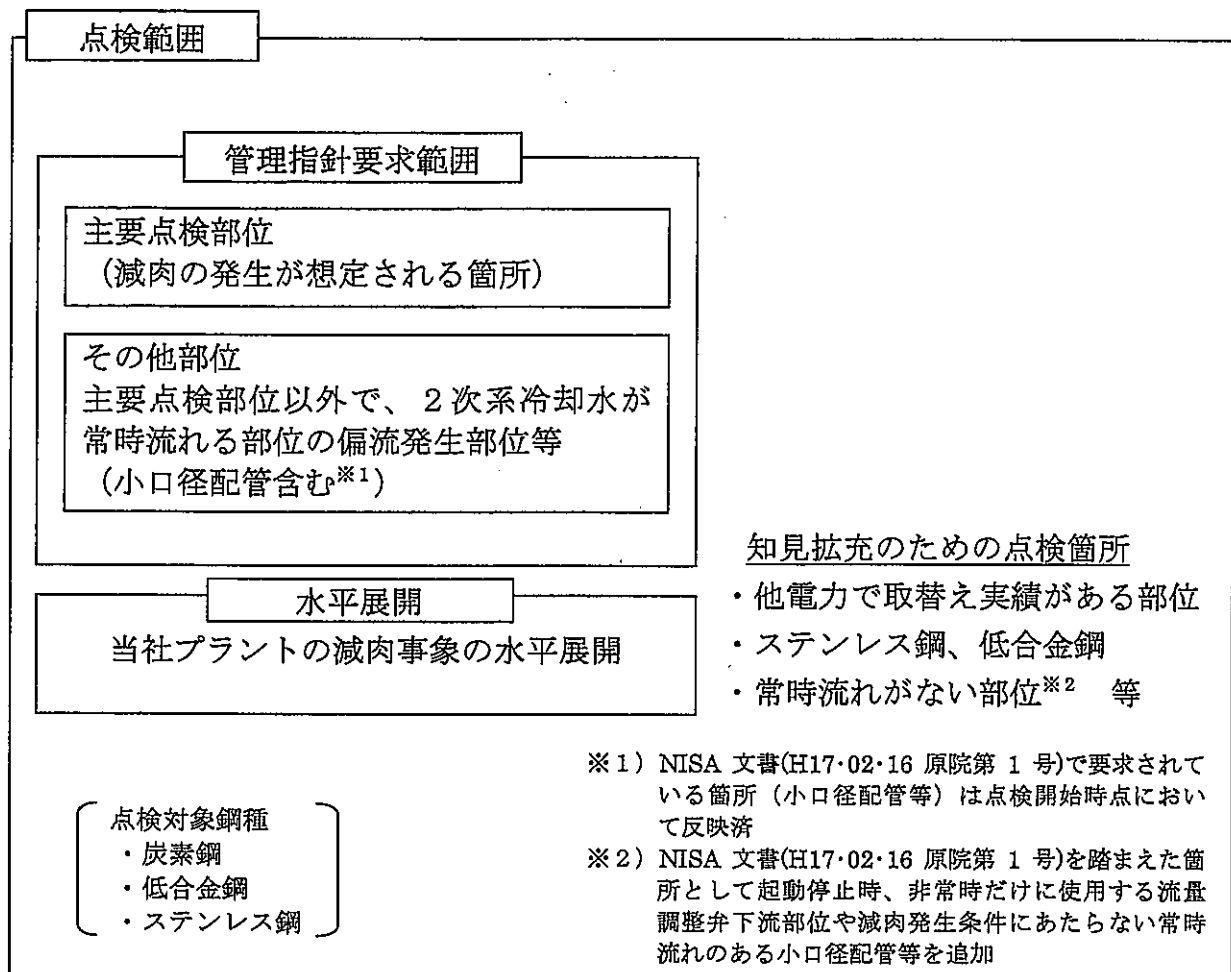


二、点檢実施箇所

技術基準適合命令範囲（既スチス鋼配管8箇所を除く）

:: 配管内面確認等での確認 (Iロ-ジ-ヨシ-コ-ロ-ジ-ヨシ以外の要因)

美浜 3 号機の点検基本方針



美浜発電所3号機 2次系配管点検箇所数の変更について

		当初計画	最終報告 (6月11日現在)	備考
管理指針に基づく点検対象箇所	主要点検部位	930	930* (±0)	○主要点検部位については変更なし
	その他部位	3, 318	3, 331 (+13)	○今回の点検に伴いスケルトン図を現場と照合した結果 (炭素鋼): ・追加36箇所 ・削除25箇所 ○管理指針改訂(高圧排気管温度計ウエルの追加): ・追加2箇所
知見拡充のための点検対象箇所		1, 305	1, 704** (+399)	○今回の点検に伴いスケルトン図を現場と照合した結果 (ステンレス鋼): ・追加1箇所 ・削除22箇所 ○復水器内抽気管の知見拡充(炭素鋼): ・追加1箇所 ○知見拡充のための419箇所追加
減肉事象の水平展開による対象箇所		6	303* (+297)	○美浜3号機高圧タービン蒸気入口管の水平展開:追加168箇所(ステンレス鋼17箇所含む) ○姫路第1発電所5号機フローノズル下流配管の水平展開:追加3箇所 ○美浜1号機給水ブースターポンプ吐出配管の水平展開:追加13箇所 ○大飯2号機の湿分分離器胴ドレン管の水平展開:追加6箇所 ○美浜3号機の再熱蒸気止弁漏えい管およびインターセプト弁漏えい蒸気管の水平展開:追加107箇所
合 計		5, 559	6, 268** (+709)	

*: 日本原子力研究所に搬出された主要点検部位1箇所(102-35)については、昨年、事故調査委員会による現地調査として肉厚測定された結果から余寿命評価を行っている。

** : 技術基準適合命令範囲にある既設のステンレス鋼配管8箇所(102-22~29)については、配管取替後に肉厚測定を実施するため、別途報告することとし、最終報告は6, 260箇所である。

項 目	1 点検結果および対応
-----	-------------

② 点検結果

・点検を実施した6260箇所のうち、次回定検時に余寿命5年未満となる箇所は115箇所、そのうち、計算必要厚さ（以下、 t_{sr} という）を下回る箇所は34箇所

・部位ごとの内訳

a. 主要点検部位（930箇所）

・次回定検時に余寿命5年未満となる箇所は45箇所

・ t_{sr} 未満の箇所は4箇所

b. 主要点検部位以外の箇所（以下「その他」：5330箇所）

・次回定検時に余寿命5年未満となる箇所は70箇所

・ t_{sr} を下回ったものは30箇所

次回定検時に余寿命5年未満配管の内訳

	主要点検部位	その他	合計
計算必要厚さ（ T_{sr} ）未満	4	30	34
T_{sr} ～13ヶ月未満	3	3	6
13ヶ月～2年未満	6	5	11
2～3年未満	6	8	14
3～4年未満	9	10	19
4～5年未満	7	5	12
5～6年	10	9	19
合計	45	70	115

項 目

1 点検結果および対応

③ 点検結果に対する対応

- ・ t_{sr} を下回る箇所、余寿命が 13 ヶ月未満の箇所合わせて 40 箇所については、管理指針に基づき、取替を実施済
- ・ 余寿命 5 年未満の箇所については、類似の系統で t_{sr} を下回っているものや、同じライン上にあるために取替えた方が合理的な 34 箇所
- ・ 上記以外に、次回定検時余寿命 5 年未満の 7 箇所についても、同様の理由により取替



- ・ 予防保全的に取替えたものを含む、81 箇所（主要点検部位 25 箇所、「その他」 56 箇所）を取替
- ・ 主要点検部位については、残りの 905 箇所のうち今後、減肉進展の可能性のある判定基準厚さ*1（以下 t_m という）未満の箇所は 45 箇所と少数
- ・ 「その他」については、残りの 5274 箇所から今後、減肉進展の可能性のある t_m 未満の箇所は 64 箇所と少数
- ・ 115 箇所のうち今回取替を実施しなかった 34 箇所については補修計画を策定するとともに次回肉厚測定を実施

*1 $t_m = t_{sr} + 2/3 (t_n - t_{sr})$

t_m : 判定基準厚さ、 t_{sr} : 計算必要肉厚、 t_n : 製造上の最小厚さ

(添付資料参照)

次回計測の対象箇所について

次回計測する34箇所については、減肉傾向のあるものの他に配管設置時の加工等に起因するものなど主に減肉以外の要因により短寿命と評価されたもの（見かけ上の減肉）等があり、それらについては、下記の3つに分類できる。

ケース1 設計余裕が小さいもの

肉厚の設計寸法が、計算必要厚さ・(T_{s r}) に対して余裕が少ないことから余寿命が短く評価される。

ケース2 配管設置時の加工等に起因するもの

配管接続のためのシンニング*¹加工部は寸法が変化しており、溶接部に向かって肉厚が薄くなっている。添付資料に示すように今回の測定結果とそれ以前の測定結果を比較すると大きく変化をしていることから、明らかにシンニング部を計測した結果によるものである（レジューサ、ティーズでは製作による寸法変化部が該当する場合もある）。

添付資料の例においては、溶接施工時には溶接部を中心に両側10mmの範囲内は、接続する相手側の管にあわせて肉厚を薄くしている。今回の詳細測定結果からも軸方向に段階的に肉厚が増加し、シンニング加工をしていない部分の肉厚にもどっており、シンニング部を計測したために肉厚が大きく変化していることがわかる。

また、基本的に同一円周上で測定点をマーキングし、測定することとしていることからシンニング部を測定したのであれば、全ての円周方向測定点の肉厚が同じように前回から大きく変化していることとなるが、今回の測定結果はその傾向を示しており、これを裏付ける結果となっている。

よって、本ケースは今回の測定ポイントが前回までの位置とずれを生じたために評価上の減肉率が過大に評価され、結果的に余寿命が短くなったものであることがわかる。

ケース3 評価方法に起因するもの

添付資料に例を示す。前回の定検時に当該の配管は取り替えられており、今回の計測が取替え後初めての計測となる。初めての計測であれば軸方向の各計測点の最大値と最小値の差を減肉として評価することとなっており（エルボの場合）、製造時の軸方向の凸凹が大きいと減肉傾向がない場合でも、減肉率として過大な値を算出することになる。また、取替え時の供用前の点検結果と今回の点検結果を比較すると、肉厚の変化はほとんど認められず、現状の点検結果からは減肉傾向が認められないことを裏付けている。

よって、本ケースは評価手法（軸方向の肉厚の差を減肉量とする）により減肉率が過大に評価され、結果的に寿命が短くなったものであることがわかる。

配管設置時の加工等に起因するものや評価方法に起因すると考えられるものについては、万一、経年的に減肉がある場合でも次回計測まで継続使用可能な余寿命を確保している。

以上のことから、34箇所については、今後取替計画を策定するとともに次回計測を実施し、減肉傾向を確認することで減肉現象に対する知見の拡充を図るとともに、管理指針に定められた取替ルールに従い適切に管理をしていく。

- *1 シンニング部 溶接継ぎ手の段差をなくすため、溶接する配管同士の内面に勾配をつけて切削加工した箇所のこと

ケース2 配管設置時の加工等に起因するもの

肉厚測定部点検結果整理票

発電所名：関電美浜3号機定期検工事

系統名		タービンバイパス管		SB42		600A x 34.0		測定点略図		15-28	
No	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	第21回定期検測結果グラフ	
	X	26.3	26.2	26.0	26.4	25.5	26.4	26.4	25.3		
	A	34.5	34.5	35.0	34.8	34.6	34.2	34.2	34.6		
	D	34.7	34.6	34.6	34.7	34.6	34.6	34.5	34.5		
①#13回定期検と#21回定期検で測定点がずれ、シンニング加工部の板厚変化の影響を受けたため測定値の差が大きい											
②計測が3回以上なので、過去の計測結果から減肉率を算出する											
#9回、#13回データ(35.0mm、34.9mm)によって、減肉率が大きく評価(0.930)され、余寿命が小さく評価される											
3回目で減肉率が過大となっている											
特記事項 ・下流側曲げ管管を1											
圧力 x 温度 (MPa x °C) 7.48 x 291.0											
最小管厚 (tn) 33.0											
判定基準厚さ (tn) 28.9											
計算必要厚さ (tsf) 20.5											
足場 ② 否 保温 ③ 無 判定処置記入											
1.点検年月日 1988.03											
2.点検部位 直管											
3.測定最小値 34.2											
4.減肉率											
5.余寿命 (年)											
6.次回定検回											
1.点検年月日 1993.09											
2.点検部位 直管											
3.測定最小値 34.2											
4.減肉率 A 0.190											
5.余寿命 (年) 81.7											
6.次回定検回											
1.点検年月日											
2.点検部位											
3.測定最小値											
4.減肉率 ★24.5											
5.余寿命 (年) A-3 0.930											
6.次回定検回 4.9											
1.点検年月日											
2.点検部位											
3.測定最小値											
4.減肉率											
5.余寿命 (年) 22											
6.次回定検回											
1.点検年月日											
2.点検部位											
3.測定最小値											
4.減肉率											
5.余寿命 (年)											
6.次回定検回											
備考											
詳細測定あり											

添付資料 (3 / 4)

ケース3 評価手法に起因するもの

発電所名：関電美浜3号機定検工事

肉厚測定部点検結果整理票

系統名		57		給水ポンプミニマムフロー管 (1/2)		SIF1480		250A x S80		測定点略図		57-24			
No	測定点	第21回定検測定結果グラフ								特記事項	圧力 x 温度 (MPa x °C)	最小管厚 (mm)	判定基準厚さ (mm)	計算必要厚さ (tsr)	備考
		1	2	3	4	5	6	7	8						
X	A	-	-	-	-	-	-	-	-		10.80 x 195.0	13.2	12.7	11.6	備考
		13.1	13.7	15.0	16.9	17.4	16.5	14.9	13.6						
		13.2	13.8	15.0	15.8	17.2	16.7	15.5	14.1						
		14.2	15.0	15.2	15.8	16.0	16.0	14.8	14.7						
B	B	14.3	15.0	15.1	15.7	15.9	16.0	14.6	14.4		10.80 x 195.0	13.2	12.7	11.6	備考
		13.8	14.3	15.0	16.3	17.0	16.2	15.1	14.4						
		14.3	14.4	15.0	16.2	16.8	16.2	15.1	14.5						
		13.2	13.8	14.9	16.6	17.1	17.0	15.0	14.1						
C	C	13.1	13.8	14.9	16.5	17.1	16.9	15.0	14.0		10.80 x 195.0	13.2	12.7	11.6	備考
		13.6	13.8	14.8	16.4	17.1	16.9	15.4	14.1						
		13.8	13.8	14.8	16.2	17.7	17.1	15.4	14.3						
		13.4	14.1	14.8	16.1	17.1	17.3	15.3	14.3						
D	D	13.3	14.0	14.7	16.1	17.2	17.2	15.3	14.2		10.80 x 195.0	13.2	12.7	11.6	備考
		13.5	14.3	15.2	17.2	17.2	16.2	14.8	14.2						
		13.5	14.0	15.3	17.1	17.4	16.7	15.1	13.7						
		13.7	14.2	14.9	16.2	17.1	17.1	15.3	14.3						
E	E	13.5	14.1	14.9	16.3	17.1	17.0	15.2	14.3		10.80 x 195.0	13.2	12.7	11.6	備考
		14.0	14.0	15.0	16.7	17.2	16.3	15.1	14.3						
		11.9	12.8	13.5	15.3	15.5	16.2	15.1	14.3						
		13.3	13.6	14.4	16.0	17.0	17.0	15.6	14.5						
24 90° 曲管	24 90° 曲管	13.3	13.5	14.4	15.9	17.0	17.0	15.6	14.4		10.80 x 195.0	13.2	12.7	11.6	備考
		13.3	13.5	14.4	15.9	17.0	17.0	15.6	14.4						
		13.3	13.5	14.4	15.9	17.0	17.0	15.6	14.4						
		13.3	13.5	14.4	15.9	17.0	17.0	15.6	14.4						
		#20回に取替えており、供用開始後1回目の計測なので、差法による軸方向の凹凸により減肉率が過大評価され、余寿命が短くなった。													
		供用前の計測データとほとんど差はなく、減肉傾向は認められない													
		取替え時の（供用前の）計測データ													

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
④ 減肉原因 ・ 取替え後の旧配管については、減肉事象の知見拡充を図るために内外面調査を実施 ・ 取替えた配管 8 1 箇所のうち、減肉の無いもの、外面減肉や赤錆等エロージョン・コロージョン以外の要因によるものを除き、エロージョン・コロージョンによる減肉は 5 7 箇所。エロージョンによる減肉はなし ・ エロージョン・コロージョン以外の箇所については他プラントにおいても肉厚測定を実施し、知見の拡充に努め、管理に反映予定 （添付資料参照）	

取替配管調査結果

取替え後の旧配管については、減肉事象の知見拡充を図るために内外面調査を行った。
その結果、減肉には外面減肉や赤錆等によるものが認められた。(下表参照)

配管調査結果

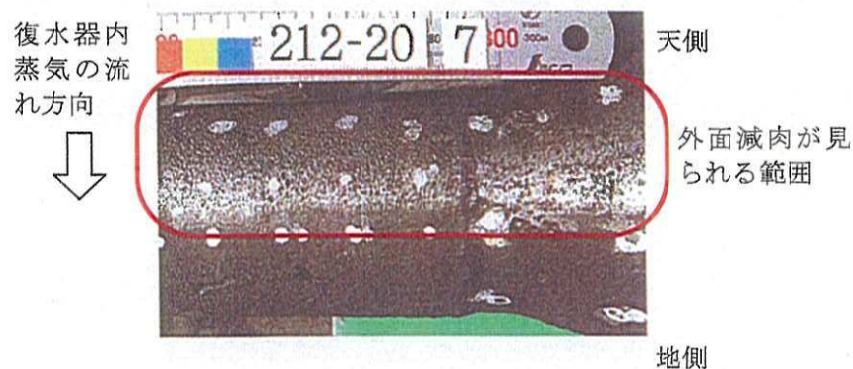
系 統	材 料	調査結果
・インターセプト弁漏えい蒸気管	炭素鋼	外面減肉
・インターセプト弁漏えい蒸気管 ・再熱蒸気止弁漏えい蒸気管 ・復水器真空ポンプ排気管	炭素鋼	赤錆 (内面)
・蒸気発生器ブローダウン水回収管 ・蒸気発生器水張ポンプミニマムフ ロー管等	ステンレス鋼	減肉なし (蒸気発生器ブローダウ ン水回収管については別 途記載)
・復水处理装置主復水管 ・補助蒸気配管	炭素鋼	減肉なし
・第4給水加熱器空気抜管 ・補助蒸気配管	炭素鋼	腐食 (内面)

○外面減肉の例

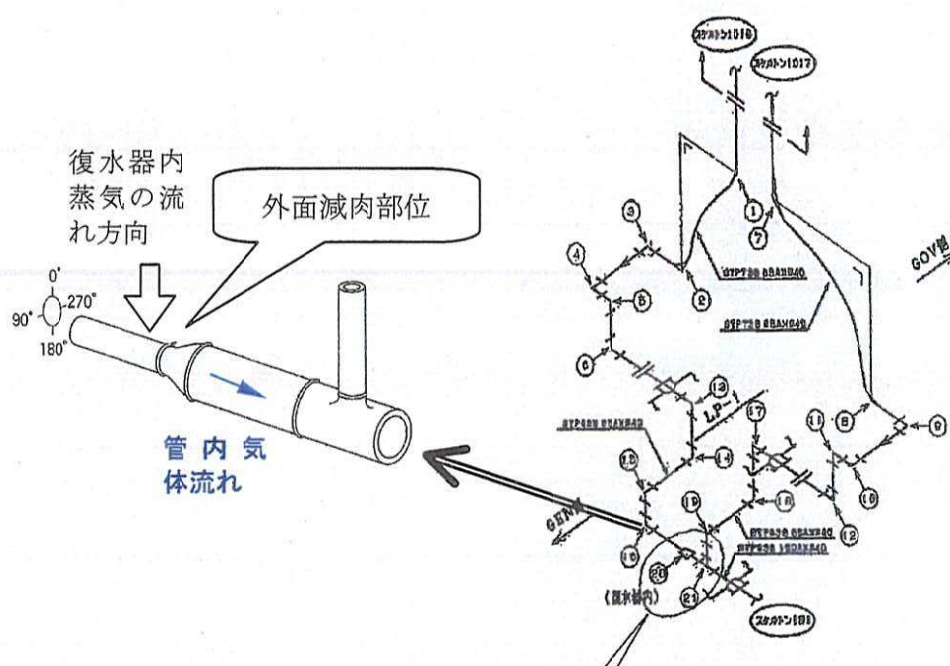
インターセプト弁漏えい蒸気管

復水器内部の配管外面の上面部にタービンから排気される蒸気による減肉が認められた。

なお、当該部位は復水器内配管であり、仮に減肉が進行してもプラント安全上、労働安全上問題となるものではない。



(a) 外面減肉写真



(b) 外面減肉の箇所

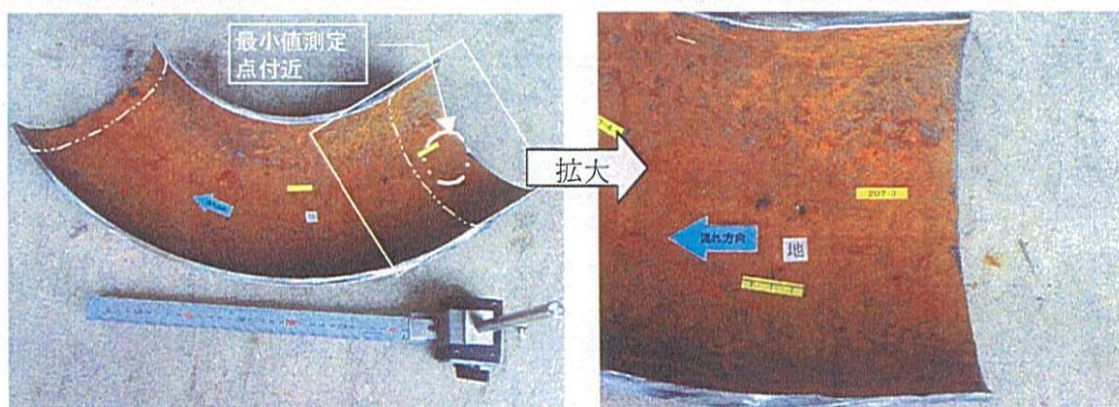
图2 外面減肉

○赤錆（配管内面）の例

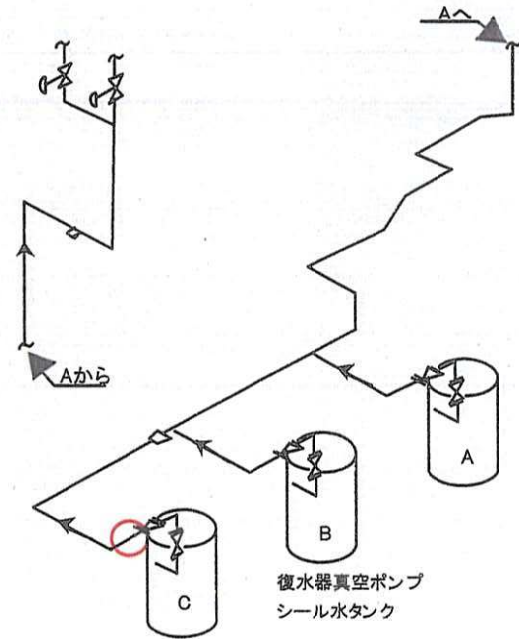
復水器真空ポンプ排気管

配管敷設上の天側と地側の間隔付近を管軸方向に切断し、内面を観察した。

内面全体に赤錆が認められ、特に地側についてはドレン溜りの影響と推測される、赤錆の付着が多く認められたが、エロージョン・コロージョンを示す徴候は認められなかった。



(a) 赤錆 (内面) 写真



(b) 赤錆 (内面) の箇所

図2 赤錆 (内面) による減肉

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
-----	-----------------------------

⑤ 新たな減肉発生系統について

- ・「その他」の系統に、主要点検部位と比較して減肉傾向は緩やかであるものの、エロージョン・コロージョンによる減肉あり。これらの系統について、全プラントでの調査を継続して実施中（現状までの点検状況、最新の管理指針*への反映状況は下表参照）
- ・タービンランド管、第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管については、減肉発生条件にあると推定。減肉箇所が多いこと、過去の取替実績も踏まえ、既に最新の管理指針に反映済
- ・スチームコンバータドレン管は点検済みのプラントで減肉が認められていることから発生条件にあると考え、最新の管理指針に反映
- ・その他の箇所については、他プラントで減肉の発生が認められていないことや軽微な減肉のみが認められていることから、今後の点検状況を踏まえて対応を検討

*平成2年PWR配管減肉管理指針に基づき、当社配管管理を定めた指針。本報告書では、H17.5.17改正版を指す。

「その他」でエロージョン・コロージョンによる減肉が認められた系統（H17.6末現在）

美浜発電所3号機 減肉発生系統	他プラントの点検状況	今後の対応(管理指針への反映)
タービンランド蒸気系	点検済みのプラント M1, 2、T2, 3、O2 軽微な減肉のあったプラント (tsr割れなし) T2, 3、O2	高圧タービンからの湿り蒸気の流入によると思われる。 (添付資料参照) 美浜3号機では9箇所(tsr割れ8箇所)減肉が発生していることも踏まえ、点検対象として最新の管理指針に反映済み
第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管 (「小口径配管の減肉」で検討)	点検済みのプラント M1 (高浜1, 2号機の同系統はステンレス鋼に取替えている) 減肉のあったプラント なし	系統条件は減肉発生条件に該当する。他プラントの取替実績から管理対象とし、最新の管理指針に反映済み
湿分分離器逃がし弁連絡管ドレン管	点検済みのプラント T3 減肉のあったプラント なし	他プラントの点検状況を踏まえて検討する。
スチームコンバータドレン管	点検済みのプラント T3、O2 減肉のあったプラント O2	最新の管理指針に反映していく。
第1復水器2、4抽気管	点検済みのプラント M2、T2, 3, 4、O3, 4 軽微な減肉のあったプラント (tsr割れなし) T2, 4	他のプラントで減肉が認められているが、軽微であることから今後の点検状況を踏まえて検討する。
復水処理装置脱塩塔出口主復水管	点検済みのプラント T3 減肉のあったプラント なし	他プラントの点検状況を踏まえて検討する。

タービングランド蒸気系統の エロージョン・コロージョンの調査について

1. 検討の概要

「その他」に分類されているタービングランド蒸気系統は、タービングランド蒸気管と高圧および低圧グランド蒸気入口管から構成され、タービングランドに蒸気を供給することによって、タービングランドからの空気吸い込みによる復水器真空度の低下を防止している。

今回の点検結果により、減肉が認められているが、これは運転中におけるタービングランドからの湿り蒸気の流れによるエロージョン・コロージョンであることが判明した。

類似箇所は水平展開し、他プラントも点検を行うこととしているが、プラントによって減肉が認められていないものもある。そこで、当該部の減肉の原因を調査し、プラントによる差異の検討を行った。

2. 系統構成と点検結果

美浜発電所3号機のタービングランド蒸気系の概要を図1に示す。また、スケルトン図を図2に示す。

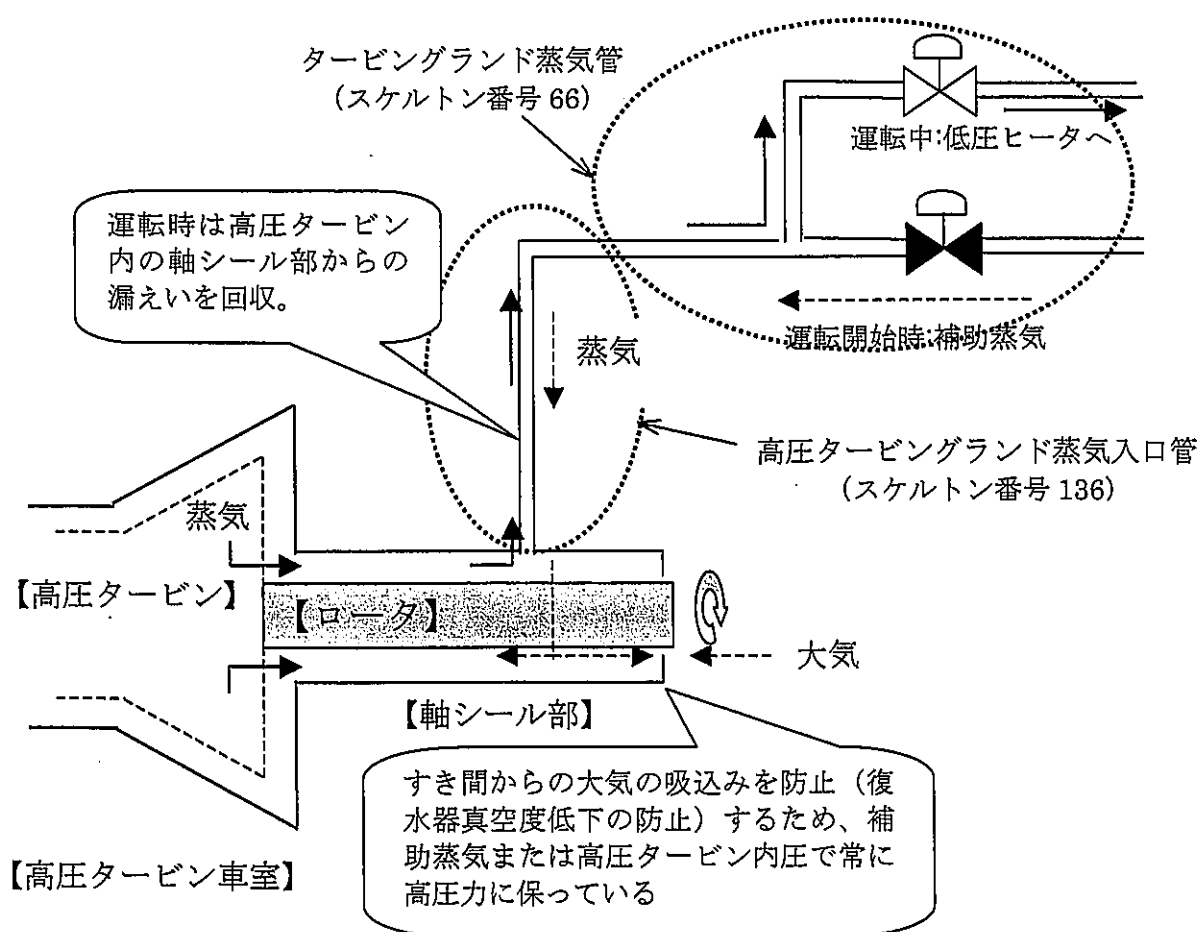


図1 タービングランド蒸気系統について

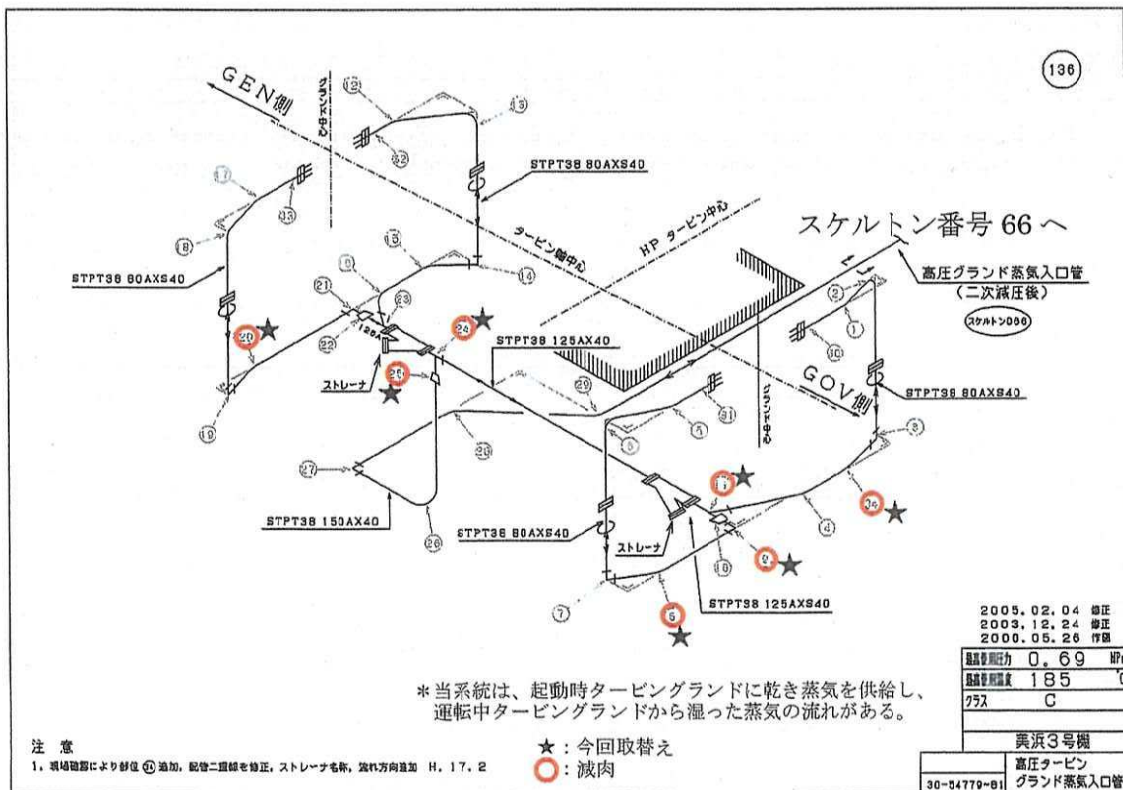
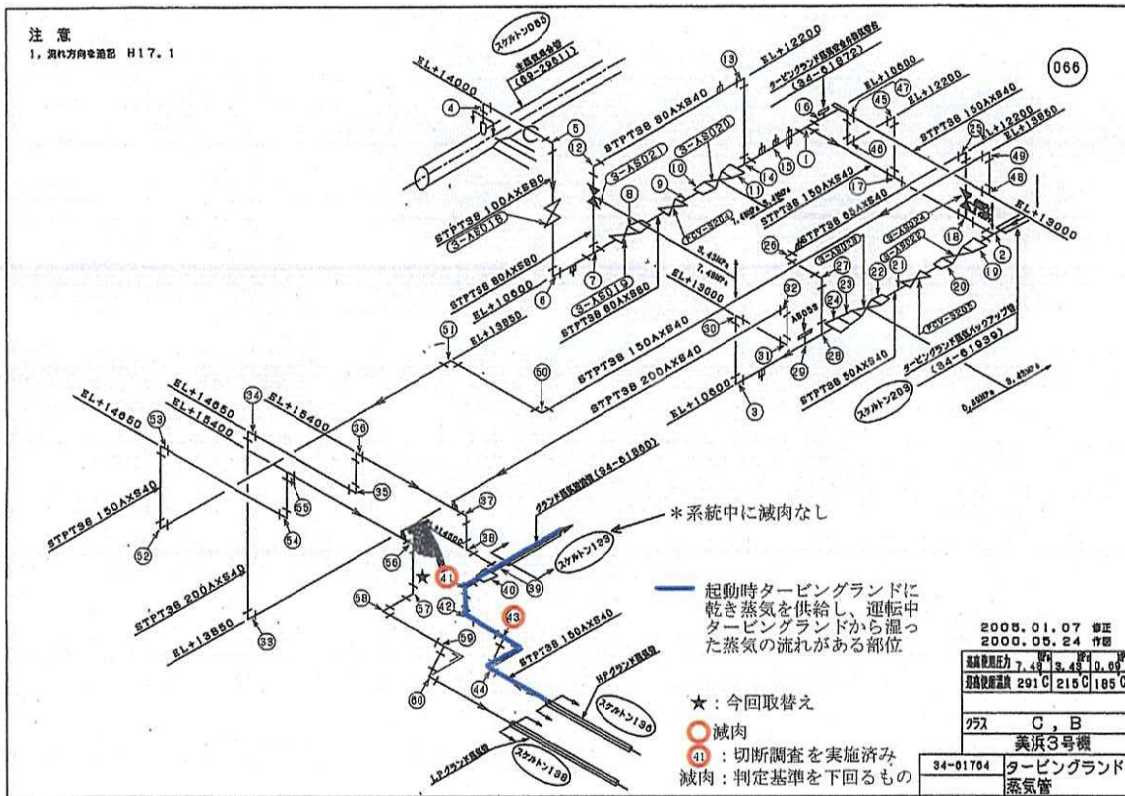
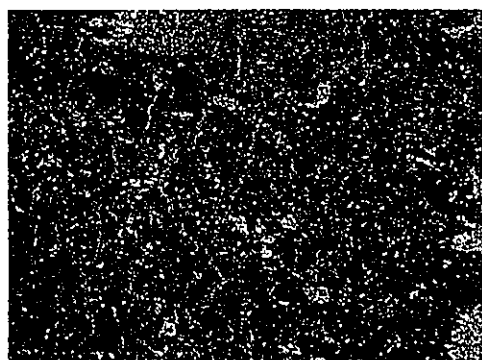


図2 タービングランド蒸気系 スケルトン図 (両流れのある箇所)

配管（66-41）切断調査の結果、配管内面は黒色のスケールに覆われており、X 線回折の結果、マグネタイト（ Fe_3O_4 ）であることを確認した。減肉部は凹凸の大きい不均一な模様を示し、エロージョン・コロージョンによるものと思われた。なお、凹凸の表面は平滑であり、エロージョンの兆候は見られなかった。

タービングランド蒸気系については、起動時にタービングランドに乾き蒸気を供給し、運転中はタービングランドから湿り蒸気の流れがあり、これによりエロージョン・コロージョンが発生したと考えられる。



エルボ背側の内表面

図3 最小位置近傍の内表面（66-41の切断調査結果）

3. 設備に起因する原因の調査

エロージョン・コロージョンの要因である湿り蒸気については、設備の不具合等によって発生した、美浜発電所3号機固有の事象である可能性がある。

そこで、美浜発電所3号機の軸シールの構造および分解時のシール部等の状態を調査した。その結果、美浜発電所3号機のタービングランド部の構造は、他プラントでも採用されている一般的なものであった。また、分解点検時の軸シールの隙間は適正な範囲であり、想定外の過大な蒸気の漏えい等はなかったと考えられる。

表－1 設計、保守に対する原因の調査

考えられる原因	調査内容	結果
不適切な構造による漏えい 蒸気の増大	軸シールの構造	他プラントでも一般に使用されている構造（弾性支持型グランド構造）であり特異なものではないことを確認した。
シール部磨耗による漏えい 蒸気の増大	今回定検分解時のタービングランド間隙計測 結果記録	管理範囲内であり問題ないことを確認した。

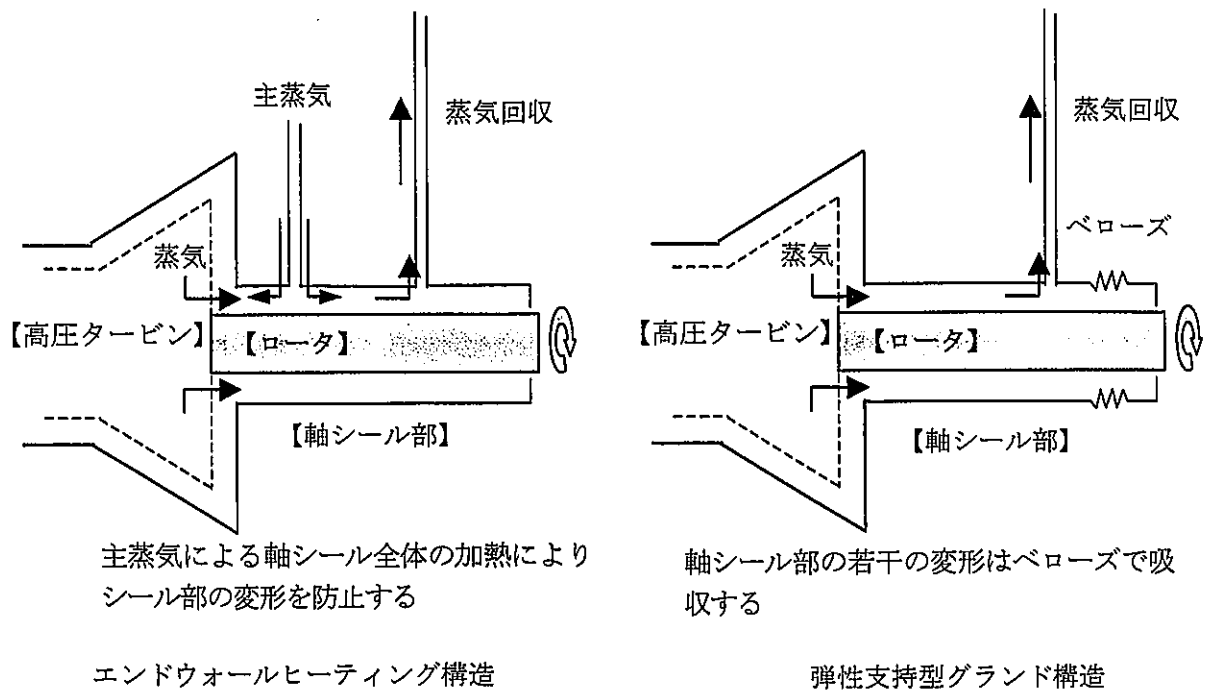


図4 軸シール構造

4. 他プラント調査の状況

現在、各プラントの点検を順次実施中であり、全てのプラントの点検結果が出揃っていないものの、余寿命5年未満の箇所は既に点検を実施したプラントの幾つかで認められている。軸シール構造には2タイプあり、エンドウォールヒーティング構造は主蒸気（乾き蒸気）を注入しているため、弾性支持型グラウンド構造に比べて減肉が起こりにくい可能性がある。ただし、同じ弾性支持型グラウンド構造の他プラントも美浜発電所3号機以外のプラントでは計算必要厚さを下回る減肉はなく、プラントにより減肉の程度に差が見られる。プラントによる減肉の程度の差の原因については、許容範囲内での軸シールからの蒸気漏えい量の違い等が推定されるが、現状での特定は困難である。

表－2 タービングランド蒸気管の点検結果 (H17.6 末現在)

発電所	タービングランド構造	水平展開の状況・結果	
		計算必要板厚未 満	余寿命5年未満
美浜発電所	1号機	本定検点検予定	
	2号機	0	0
	3号機	7	5
高浜発電所	1号機	至近定検点検予定	
	2号機	0	1*1
	3号機	0	9
	4号機	至近定検で点検予定	
大飯発電所	1号機	至近定検で点検予定	
	2号機	0	2
	3号機	本定検中に点検予定	
	4号機	至近定検で点検予定	

* 1：判定基準厚さ以上であり、減肉していない可能性がある

5. 検討結果

軸シール構造は他プラントでも採用されている一般的な構造であること、美浜発電所3号機の軸シール部の分解点検結果も正常であることから、設計や経年に伴う設備の異常によるものではなかったものと思われる。

美浜発電所3号機と同じ弾性支持型グラント構造のプラントの幾つかで減肉が認められた。

軸シール構造には2タイプあり、エンドウォールヒーティング構造は主蒸気（乾き蒸気）を注入しているため、弾性支持型グラント構造に比べて減肉が起こりにくい可能性がある。

プラントによる減肉の程度に差の原因については、許容範囲内での軸シールからの蒸気漏えい量の違い等が推定されるが特定は困難である。そのため、当系統の減肉管理に関しては、プラント毎に該当箇所を点検して減肉傾向を把握した結果に基づき管理することが妥当と考えられる。

項 目

2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）

⑥ 偏流箇所に関する知見

- ・減肉は系統条件に加え、配管の曲がり部などで内部流体の流れに偏りが生じる箇所で発生可能性大
- ・従来は、エルボ部やオリフィス下流部などを偏流箇所として管理
- ・今回の調査の結果、直ちに破損に至るようなものではないものの、これまで偏流箇所と考えられていなかった、湿分分離器ドレン管ドレンポット下流管、給水ブースタポンプ吐出管で減肉傾向を確認（下表参照）
- ・給水ブースタポンプ吐出管については、ポンプによる流体の乱れによる減肉発生と考えられることから、今後最新の管理指針に反映予定
- ・湿分分離器ドレン管ドレンポット下流管については、大飯2号機以外のプラントにおいては減肉発生報告がないことから今後の点検状況を踏まえて対応を検討

新たな偏流発生の可能性のある箇所

（H17.6末現在）

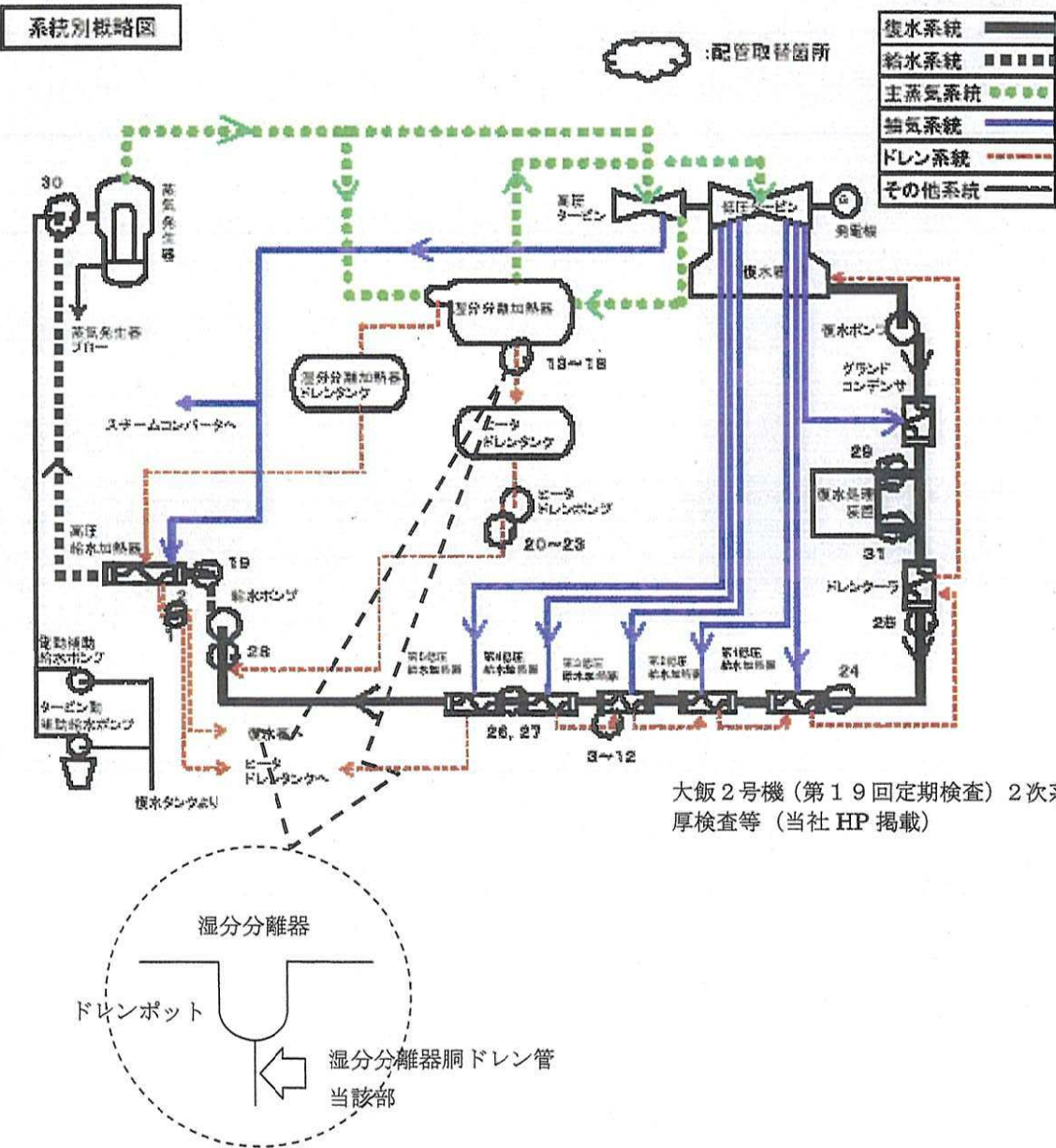
美浜発電所3号機減肉発生系統	他プラントへの点検結果	今後の対応(管理指針への反映)
給水ブースターポンプ吐出管	点検済みの他プラント 全プラント 減肉のあったプラント M1	偏流箇所（系統条件は主要点検部位と同じ） ポンプによる流体の乱れの影響によると考えられることから、今後、最新の管理指針に反映していく
湿分分離加熱器ドレン管 ドレンポット下流管	点検済みの他プラント T3、O1,2 減肉のあったプラント O2	偏流箇所（系統条件は主要点検部位と同じ） 他プラントの点検状況を踏まえて検討する。

（添付資料参照）

偏流発生部位に関する知見

今回の調査の結果、直ちに破損に至るようなものではなかったが、これまで偏流発生部位と考えられていなかった、湿分分離器ドレン管ドレンポット・給水ブースタポンプ吐出管で減肉兆候が認められた。

○湿分分離器ドレン管ドレンポット下流管



○給水ブースタポンプ吐出管
(給水ブースタポンプ出口直後の直管)

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
⑦ 低合金鋼、ステンレス鋼の減肉 ・点検の結果、低合金鋼配管で次回定検時に余寿命 5 年未満の配管なし ・点検の結果、ステンレス鋼で t_nを下回る第 2 低圧給水加熱器空気抜管（1 箇所）、第 3 低圧給水加熱器空気抜管（1 箇所）、高減圧部（蒸気発生器ブローダウン流量調整弁下流）の配管切断による内面調査を行い、減肉傾向は認められないことを確認 ・BWRプラントの一部で、高減圧部など使用環境によってはエロージョン等の減肉が発生することが報告されているため、類似箇所（ステンレス鋼）の肉厚測定を実施し、減肉傾向のないことを確認 （添付資料参照）	

ステンレス鋼配管の内面調査

ステンレス鋼の減肉事例については、平成１７年３月２３日付け平成 17・03・15 原院第 5 号「東京電力株式会社福島第一原子力発電所、柏崎刈羽原子力発電所及び中国電力株式会社島根原子力発電所における配管の減肉事象について」により BWR の女川原子力発電所 2 号機の高圧給水加熱器ベント配管（ステンレス鋼）に、オリフィス通過時に音速近くに加速された凝縮水によるエロージョンの発生が報告されている。このためステンレス鋼の減肉傾向調査ならびに内面調査を実施した。

また、公称肉厚の下限值（ t_n ：製造上の最小厚さ）をやや下回る配管のうち、第 2 低圧給水加熱器空気抜管（1 箇所）、第 3 低圧給水加熱器空気抜管（1 箇所）をサンプルとして選び内面調査を行った。

計算上必要厚さを下回った蒸気発生器ブローダウン水回収管（2 箇所）について、内面調査を実施した（図－１参照）。その結果、いずれも、エロージョンおよびエロージョン・コロージョンによる減肉は認められなかった。

美浜発電所 3 号機の該当箇所として、蒸気発生器ブローダウン水回収系統（スケルトン番号 162）で、高減圧により流体が加速される、流量調整弁出口付近の 162-57,58,59 の肉厚測定結果を調査した。

表－１に示すとおり、第 11 回定検（平成 3 年）の初回計測以降、測定最小値の変動は 14 年間で僅か（0.2～0.7mm 程度）であり、配管肉厚は製造時の公称肉厚の下限值である最小管厚以上であった。また、当該箇所は第 8 回定期検査（昭和 62 年）での取替以来、約 20 年間使用している。

表－１ 高減圧部下流の点検結果

スケルトン図番号	部位 分類	配管 口径	測定最小値（mm）			最小管厚 （mm）	備 考
			第 11 回 定 検	第 16 回 定 検	第 21 回 定 検		
162-57（A 系統）	「その他」	125A	9.0	8.6	8.3	8.3	第 8 回定検 時取替
162-58（B 系統）	「その他」	125A	8.5	8.3	8.3	8.3	第 8 回定検 時取替
162-59（C 系統）	「その他」	125A	8.5	8.3	8.3	8.3	第 8 回定検 時取替

* 第 8 回定検：1987 年

以上に示すように、美浜発電所 3 号機の点検範囲ではステンレス鋼の明確な減肉は認められていない。

今後、ステンレス鋼については減肉情報の収集に努めるとともに、長期的観点で適宜検査を行い、減肉傾向を確認していく。

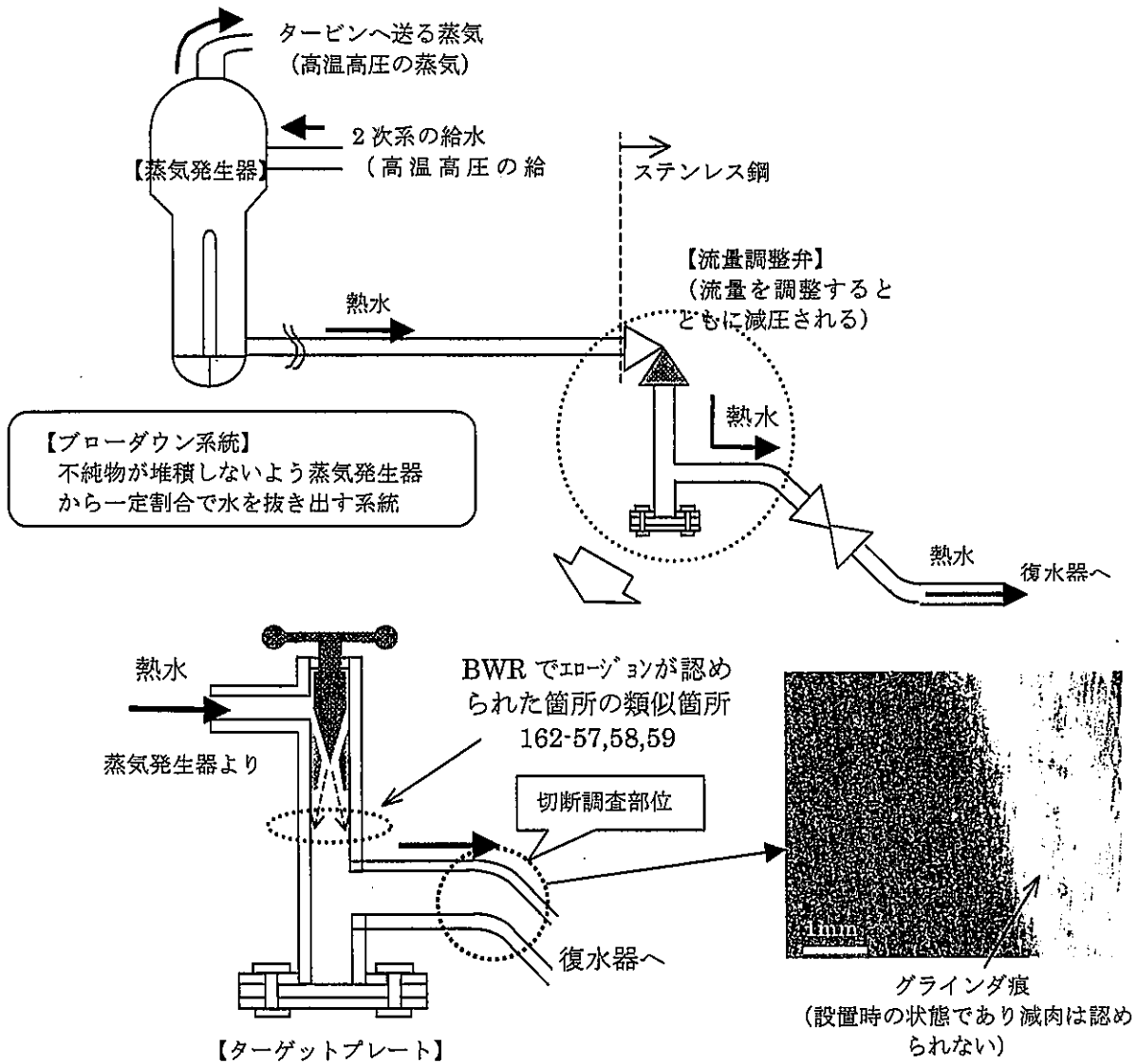


図-1 高減圧部のステンレス配管 (ブローダウン系統)

項 目	3. 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
⑧ 2 B以下の小口径配管の減肉 ・肉厚測定の結果、ごく一部の配管に減肉が認められたが、小口径配管の減肉率は非常に小さかった。 ・上記配管は、従来、減肉の発生が知られている系統条件下 ・従来の管理指針では、小口径配管は減肉管理対象外 ・NISA文書（H17・02・16原院第1号）においては管理対象とされており、最新の管理指針に反映済み * 呼び径2 B（インチ）：外径60.5mmの配管。 （添付資料参照）	

2次系小口径配管の減肉発生状況について

減肉率は非常に小さいが、小口径配管においても減肉が認められた。

○減肉発生割合

減肉傾向（ t_m ：判定基準値未満）の小口径配管（炭素鋼配管を対象）の割合は、約1％である。

$$\frac{\text{減肉傾向がある2次系小口径配管の箇所数}}{\text{測定対象である2次系小口径配管の箇所数}} = \frac{13}{1096} = 1.2\%$$

○減肉率

小口径配管の減肉の発生箇所および減肉率は以下のとおり。

小口径配管でも減肉が生じているが、減肉率は $0.038 \sim 0.151 (\times 10^{-4} \text{mm/h})$ と小さい。

NO	名 称	点検部位	呼び径 (mm)	公称肉厚 (mm)	測定 最小値 (mm)	Tsr (mm)	余寿命 (年)	判定 基準 厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4} \text{mm/h}$)
66-21	タービンランド蒸気管	直管	50	3.9	2.9	2.4	13.5	3.1	0.042
91-26	第4低圧給水加熱器空気抜管	直管	50	3.9	3.0	2.4	11.4	3.1	0.060
138-9	低圧タービンランド蒸気入口管	直管	50	3.9	1.3	2.4	—	3.1	0.151
140-60	低圧タービンランド蒸気入口管	直管	15	3.7	2.4	1.4	16.3	2.6	0.070
156-31	湿分分離加熱器ドレンタンクドレン管ウォーミング管	直管	25	4.5	3.1	1.7	42.0	3.2	0.038
157-23	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	2.8	0.8*	1.4	—	2.0	0.108
157-24	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	2.8	1.6	1.4	3.5	2.0	0.065
157-25	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	2.8	1.7	1.4	5.7	2.0	0.060
157-40	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	3.7	2.5	1.4	19.3	2.6	0.065
157-50	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	2.8	1.4	1.4	0.0	2.0	0.076
157-55	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	3.7	2.4	1.4	16.3	2.6	0.070
157-59	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	3.7	2.4	1.4	16.3	2.6	0.070
157-62	第6高圧給水加熱器ドレン管ウォーミング管	直管	15	2.8	0.8*	1.4	—	2.0	0.108

*局所的な減肉であり、全周にわたって減肉しているものではなかった。

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
⑨ 測定ポイント数および軸方向測定範囲 ・ 管理方法の更なる改善のために、t_{sr} を下回る、または次回定検時に余寿命 5 年未満の箇所以外にも 2 次系冷却水系統の減肉傾向が認められたことから、より詳細に減肉の傾向や特徴を分析し、測定方法の見直しの可否を検討 ・ t_m を下回る箇所は、減肉の可能性が高く、減肉の傾向や特徴を把握し易いことから、t_m を下回った箇所を対象として分析 a. 測定ポイント数（4点、8点） ・ 肉厚測定では対象箇所毎に周方向で 4 点から 8 点の測定ポイントで計測（NISA 文書（H17・02・16 原院第 1 号）では 5B 超配管を 8 点計測） ・ 今回の調査の結果、基本的に管理指針に定められている測定ポイント数の妥当性を確認 ・ 比較的口径の大きい配管に比べ、配管肉厚の薄い小口径配管は測定点を 4 点から 8 点計測へ変更することで、より正確な寿命予測が可能となり効果大 （添付資料－ 1） b. 軸方向測定範囲 ・ 配管減肉は偏流箇所の下流にも及ぶため、内部流体の流れる方向（軸方向）に対してオリフィス下流部で 3D（Dは配管直径）、それ以外の偏流箇所では下流 2D の範囲で測定ポイントを設定 ・ 今回の調査の結果、配管肉厚の最小値はオリフィス下流部で 3D 以内、それ以外の偏流箇所では 2D 以内で計測されており、現状の軸方向測定範囲の妥当性を確認 （添付資料－ 2）	

円周方向測定ポイント数について

今回の調査の結果、計測点を4点から8点に変更することで、より正確な寿命予測が可能であることがわかり、また、配管肉厚の薄い小口径配管でより効果的であることがわかった。

1. 4点計測と8点計測の比較（例）

計測点を4点から8点に変更することで、より正確な寿命予測が可能

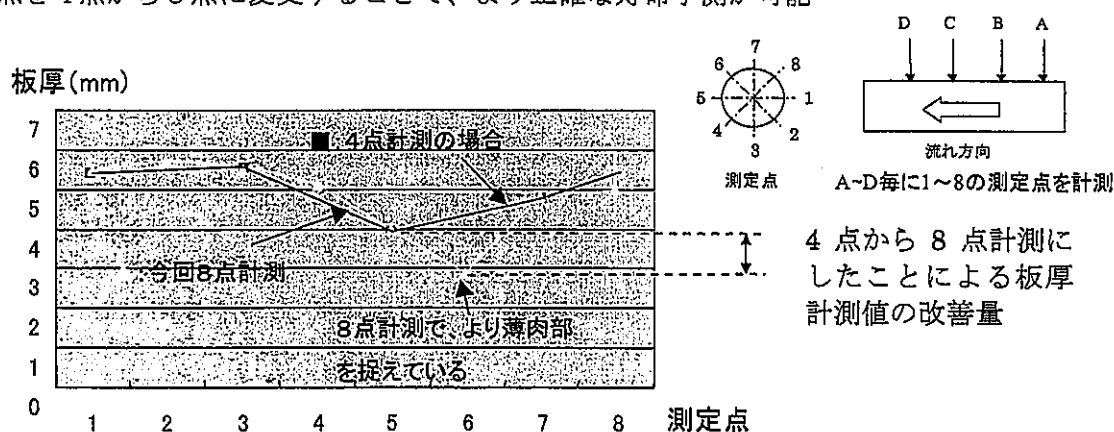


図1 周方向板厚計測値の4点→8点計測の比較 例 第4 低圧給水加熱器ドレン管

2. 口径毎の8点計測による効果の検討

口径別に4点から8点計測に変更したことによる板厚計測値の改善量（最大値）を整理したところ、特に小口径配管で効果が大きい傾向にあることが分かった。

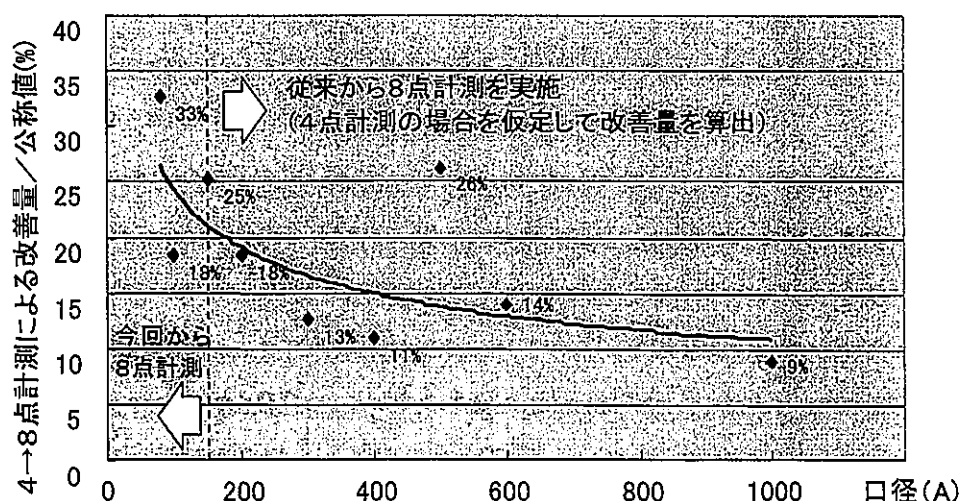


図2 4点から8点計測にしたことによる板厚計測値の改善量の口径依存について

分析対象：2次系冷却水系統

軸方向測定範囲の妥当性について

1. 減肉傾向にあるオリフィス下流の測定範囲について

オリフィス下流については、オリフィス取付部を始点として、配管口径の3倍までの範囲で測定している。判定基準厚さ未満となった2次系冷却水系統で唯一該当する75-8（湿分分離器「レゾナンス」出口管オリフィス下流）の測定結果を図1に示す。減肉による最小厚さは、測定範囲内にあることが分かる。

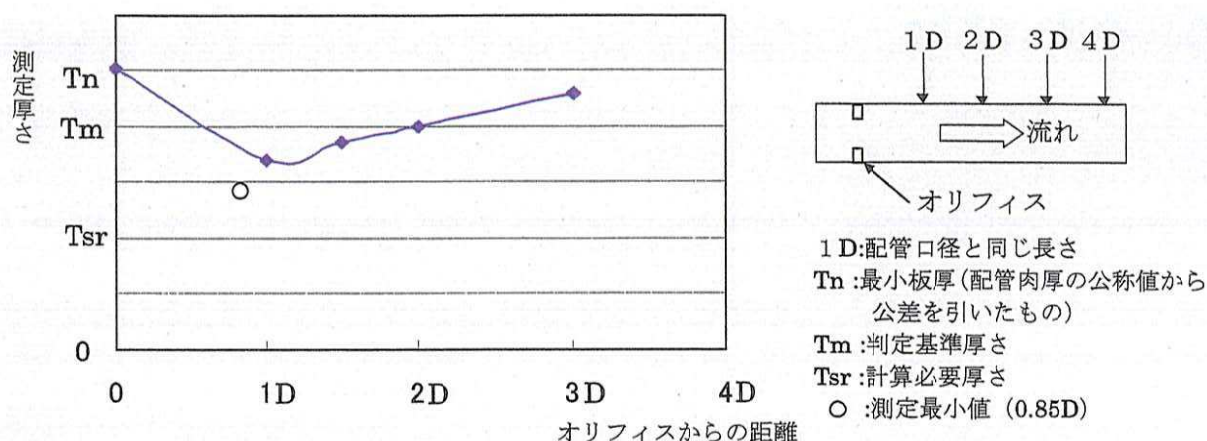
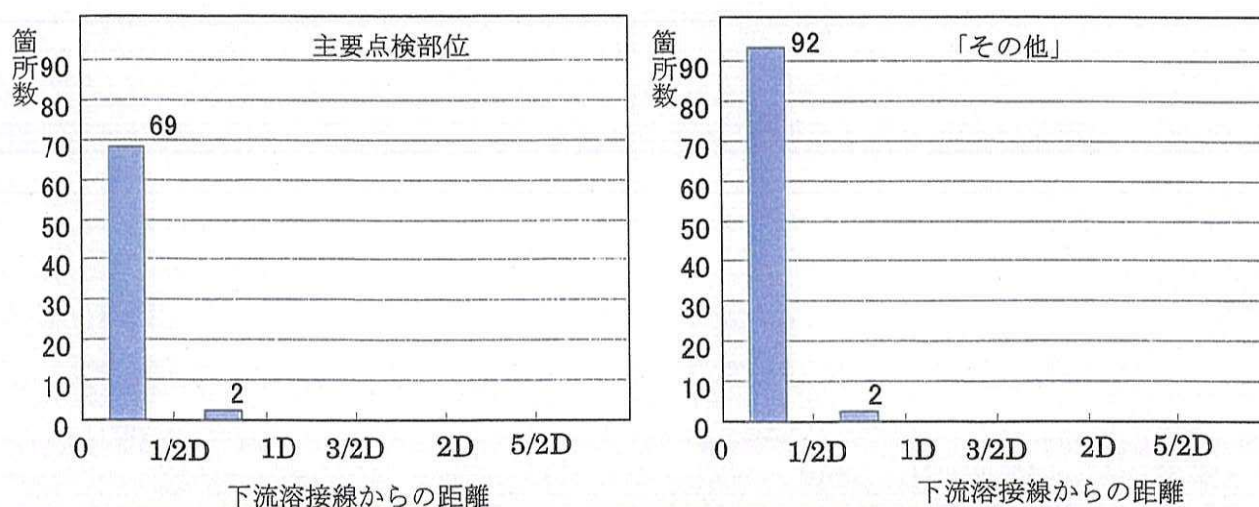


図1 オリフィスからの距離と測定厚さの関係

2. エルボ、レジューサ等の偏流発生部位の測定範囲について

エルボ、レジューサ等については、その下流側について配管口径の2倍までの範囲で測定することとしている。判定基準厚さ未満となった範囲を対象として、測定最小値の位置を調査した。調査結果を図2に示す。主要部位および「その他」とも詳細測定の測定最小値は、配管径（1D）以内で測定されており、測定範囲の妥当性が確認された。



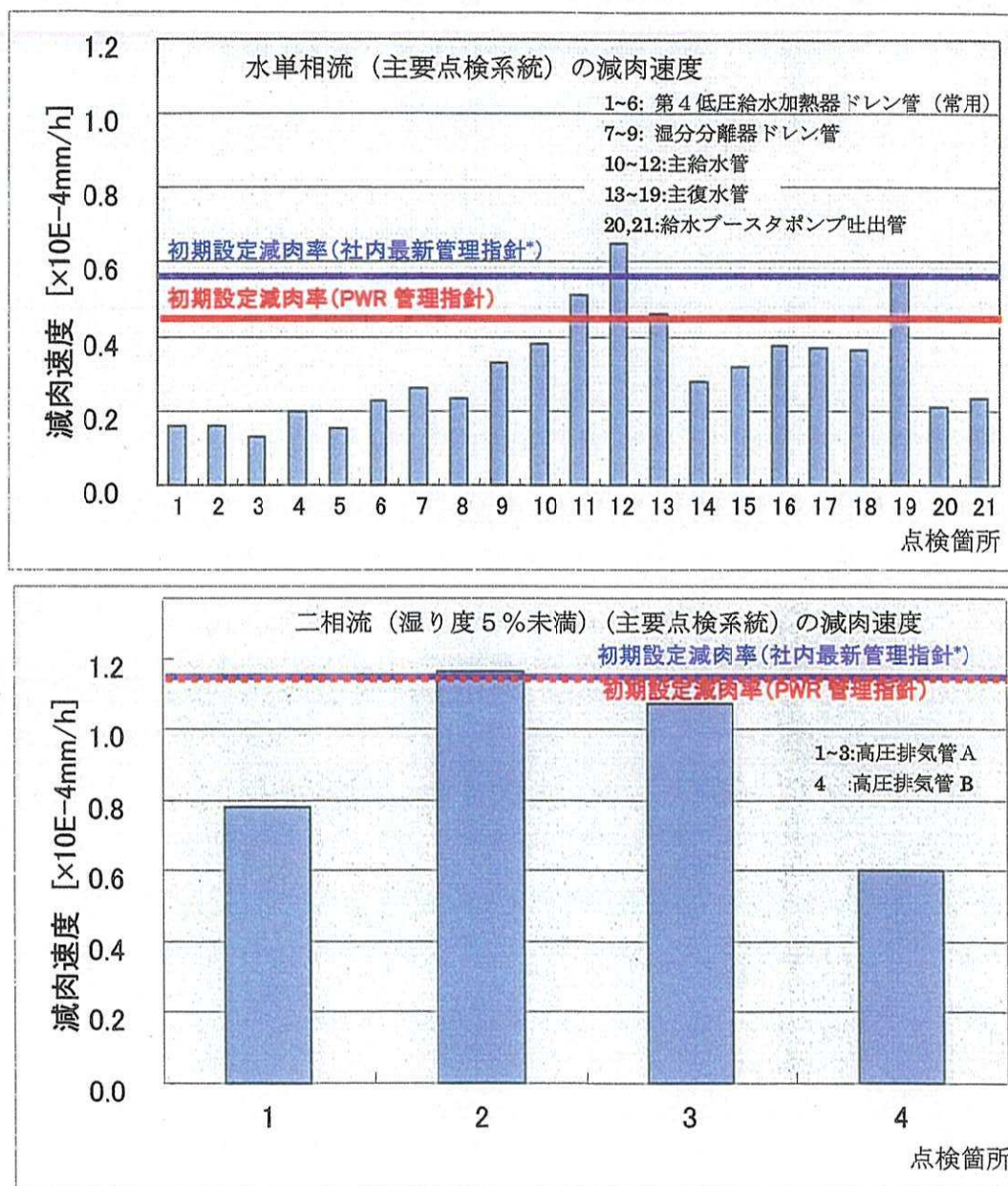
* 分析対象：2次系冷却水系統

図2 下流溶接線からの距離と測定最小値の箇所数

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
	⑩ 初期設定減肉率 ・ 従来 of 想定を大きく上回るものはなし ・ 一部、若干初期設定減肉率を上回る値については、最新の管理指針に反映予定 （添付資料参照）

○初期設定減肉率

初期設定減肉率が設定されている主要点検系統について、実機減肉速度と比較し、これまで想定されていた減肉率を大きく上回るものがないことを確認した。初期設定減肉率を一部上回る値については、最新の管理指針に反映する。



* 社内管理指針：平成2年 PWR 配管減肉管理指針に基づき、当社配管減肉管理を定めた指針。検査結果等による新たな知見を逐次取込んでおり、ここでは H17.5.17 改正版を最新管理指針と言う。

** 分析対象：2次系冷却水系統のエロージョン・コロージョンによる取替箇所

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
	⑪ 余寿命に応じて講ずるべき処置 ・点検結果を分析し、見かけ上の減肉が存在することを確認したが、それらについてもルール通り対応 ・配管取替要否についても、余寿命評価結果を踏まえてその時点で適用される管理指針に基づき判断 （添付資料参照）

余寿命に応じて講ずるべき処置

減肉管理は、減肉の原因によらず余寿命評価結果に基づいて行う。具体的には、余寿命が 13 ヶ月未満のものは、評価方法等に起因するものであっても当該定検中に取替補修を行う必要がある。また、余寿命が 13 ヶ月以上あり、かつ 5 年未満のものは基本的に取替計画を策定する。

また、最新の管理指針ではNISA文書（H17・02・16原院第1号）を反映した内容になっており、次回定検の美浜発電所 3 号機を含め、最新の管理指針に従った管理を行うこととなっている。管理フローを図-1 に示す。

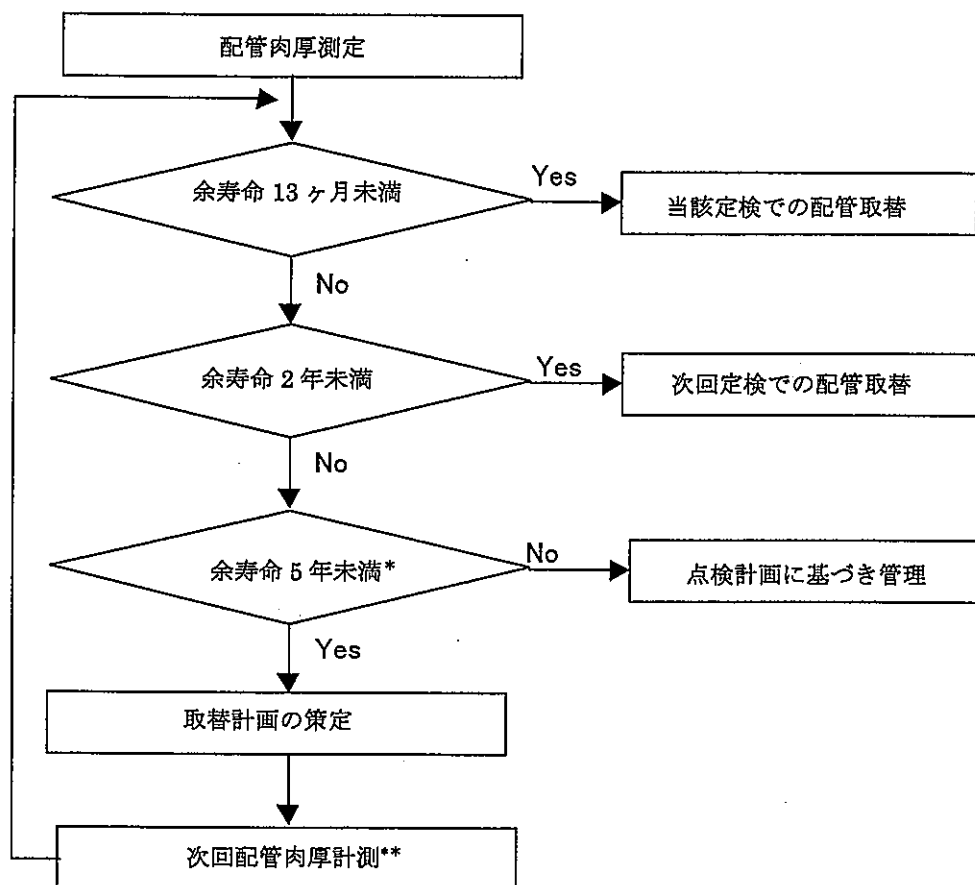


図-1 配管減肉管理フロー

* 最新の計測・評価結果による

** 取替までの毎回計測

管理を行う際の留意点

- ・ 肉厚に関する設計余裕が小さい復水処理装置脱塩塔出口主復水管等については、減肉率が小さくても厳しい評価となっている箇所が存在している。これらについては配管取替検討時に肉厚を厚くする等、設計に考慮していくこととする。
- ・ 取替時にはステンレス、低合金鋼に取替える場合も含めて PSI（供用開始前検査）を行い、初期肉厚の記録を行う。

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
	⑫ 管理指針の妥当性 ・④～⑪の検討結果ならびに、また、今回の点検で得られた知見については、適宜最新の管理指針（添付資料参照）に反映済、あるいは反映予定 ・美浜3号機の点検内容は、最新の管理指針の内容を全て包絡

管理指針記載内容

検討結果

項目	当社管理指針 (最新) *1
対象減肉事象	エロージョン・コロージョン、エロージョン
点検対象・頻度	「その他」で減肉が見られた箇所を検討し、反映
偏流を発生させる部位	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、エールボ、ティー管、スウィング型逆止め弁下流部、レジェューサ、曲管等
対象配管材料	炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼
小口径配管の取扱い	小口径配管に関する除外規定無し
円周方向測定ポイント数および軸方向範囲	3 B以上 : 8点 偏流箇所の下流 2 D (オリフィスは 3 D)
詳細測定のピッチと範囲	適用箇所 : 通常測定の結果判定基準厚さ (t_m) を下回る場合 測定ピッチ : 判定基準厚さ (t_m) を下回る場合 20 mm ピッチで測定。また、 t_m 復帰後、管の最小厚さ (t_n) ま で、100 mm ピッチ
初期設定減肉率	未点検箇所の点検時期を決定
余寿命評価方法	1 回目 : 公称肉厚法 2 回目 : 最小自乗法 (2 測定点による外挿) 3 回目以降 : 最小自乗法
点検部位の検査実施時期	初回検査 : 余寿命が 5 年となる時期までに。 2 回目以降 : 余寿命が 5 年となる時期までに。
余寿命に応じて講ずるべき処置	余寿命結果による対応は以下のとおり。 5 年以上 : 余寿命に応じて検査時期設定 2 年以上 5 年未満 : 取替計画の策定及び実施までの毎回の点検 1 3 ヶ月以上 2 年未満 : 次回点検での取替 1 3 ヶ月未満 : 当該点検での取替

点検結果にはエロージョンの発生はないが、NISA 文書*2により追加した

タービンダクト蒸気管は反映済み。スチームコンバータダクトの点検結果は反映。その他は他プラントの点検結果により検討する

ポンプ吐出管については今後反映。ドレンボット下流は他プラントの点検結果により検討する

低合金鋼、ステンレス鋼の減肉は無かったが、NISA 文書*2により追加した

小口径配管は点検対象として反映済み

点検結果では小口径で効果が大きい
ため、6 B 以上→3 B 以上に変更済み

一部初期設定減肉率を超える値を反映する

NISA 文書*2を反映

NISA 文書*2を反映
見かけ上の減肉であってもルール通り
対応する旨を本報告書で明確化した

*1: H17.5.17 改正版

*2: 平成 17-02-16 原院第 1 号

項 目	2 点検により得られた知見の整理（管理指針の改善検討）
	⑬ 当社他プラントの点検結果の反映 ・ 今回の肉厚測定では、主要点検部位以外の箇所についても一部減肉あり ・ 美浜発電所3号機でt srを下回った系統、ならびに余寿命5年未満で減肉傾向が認められた全ての系統については、他プラントにおいても点検を行い、至近定検で肉厚測定し、健全性を確認 （添付資料－1） ・ これらについては、ただちに破損に至るようなものではないが、他プラントの点検結果を分析して減肉傾向を把握するとともに、以下について必要に応じ管理指針に反映 ①新たな減肉発生系統の管理 ②新たな偏流発生箇所の追加 （添付資料－2）

他プラントの点検

各発電所における点検結果を踏まえて、継続的な管理が必要な箇所については、社内規則を改訂して管理していく。

○点検中の系統・箇所一覧

	計算必要厚さ未満または次回定検時余寿命5年未満の箇所	検討内容	点検実施系統
2次系配管でエロージョン・コロージョンによる減肉発生可能性がある系統	湿分分離器ドレン管 (ドレンポット)	新たな偏流部位による減肉と思われるため、類似箇所の点検を実施。	湿分分離器胴 ドレンポット下流配管
	給水ブースタポンプ 吐出管	新たな偏流部位による減肉と思われるため、流体条件を勘案して類似のポンプ吐出管の点検を実施。	低圧ドレンポンプ 主給水ポンプ 湿分分離器ドレンポンプ 復水ポンプ 復水ブースタポンプ 給水ブースタポンプ 他
	タービンランド蒸気	タービンランド蒸気系の両流れにより減肉発生条件にあることが分かったため、類似の系統を点検。	高圧および低圧タービン ランド蒸気管
	第6 高圧給水加熱器 ドレン管ウォーミング管	小口径のためこれまで点検対象ではなかったが、減肉発生条件にあることから、類似箇所の点検の実施。	第6 高圧給水加熱器ドレ ン管ウォーミング管
	スチームコンバータ ドレン管	同様の箇所について点検を実施。	スチームコンバータ ドレン管
	湿分分離器逃がし弁 連絡管ドレン管	同様の箇所について点検を実施。	常時通水状態である 湿分分離器逃がし弁 連絡管ドレン管
	復水処理装置脱塩塔出口 主復水管	同様の箇所について点検を実施。	復水脱塩塔出口復水管
	復水器内第2 抽気管	同様の箇所について点検を実施。	復水器内第2 抽気管
要因等その他のもの	蒸気発生器ブローダウン 水回収管 (ステンレス配管)	高減圧ラインでエロージョンの可能性が否定できないため、他プラント類似箇所の点検を実施。	高減圧ラインで、復水器 または蒸気発生器ブロー ダウンタンクへ流入する 減圧弁下流配管 (ステン レス鋼、低合金鋼含む)
	復水器真空ポンプ排気管	復水器抽出空気内の水分による腐食 (赤錆) である。類似箇所の点検を実施。	復水器真空ポンプ排気管
	再熱蒸気止弁・インター セプト弁漏えい蒸気管	漏えい蒸気の凝縮による腐食 (赤錆) である。類似箇所の点検を実施。	再熱蒸気止弁、インター セプト弁漏えい蒸気管
	復水器内配管	復水器内で直接蒸気 (タービン排気) にさらされたことによる外面減肉である。類似箇所の点検を実施。	復水器内で直接蒸気 (ター ビン排気) にさらされる 配管
	補助蒸気配管	同様の箇所について点検を実施。	補助蒸気配管でドレンの 巻き込む可能性のある部 位

社内管理指針への反映

減肉の新たな発生に対する他プラントへの水平展開については、社内規則で定めた水平展開フローに基づき、各発電所に対して点検または取替えの水平展開指示をする。原子力事業本部は各発電所における点検の結果を踏まえて、継続的な管理が必要な箇所については管理指針を改定して、継続的に管理することをルール化している。

○水平展開フロー図例

