

第2次1MW蒸気発生器試験報告書

運転経過及び洗浄解体検査

1977年6月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

1977年6月

第2次1MW蒸気発生器試験報告書

運転経過及び洗浄解体検査

筆者氏名	山田 栄吉*	保田 仁司*
	佐藤 聰*	黒羽 光男*
	森本 誠**	亀井 広一***
	市川 栄司****	岡本 俊二***
	川真田 和雄*	

期間 1974.7～1977.6

目的 改造後の1MW蒸気発生器試験装置の運転経過及び運転終了後の解体洗浄の経過と外観検査等について概要をまとめ今後の参考に供する。

要旨 1MW蒸気発生器は1次試験終了の後、改造を行い、1973年2月から2次試験に入り1975年6月に全ての試験を完了の後、解体洗浄の上、構造材の外観検査を行った。

本報告書では、2次試験における運転経過及びその間に実施した補修工事について概要を解体工事及び洗浄工事について詳細を述べ、更に解体検査について写真を含む説明を加えた。

2次試験及びその後の工事、検査などで明らかにされた事項は下記に要約される。

- (1) 1次試験の結果に基づく改造が、蒸気発生器の性能改善に有効であった。
- (2) 水蒸気とアルゴンの混合ガスによる洗浄が、安全でかつ効果的であることが実証された。
- (3) 解体後の外観検査では、問題とする程ではないが、変形が観察され、コイル支持部では、伝熱管のフレッティングウェアと思われる摩耗痕が観察された。

* 小型蒸気発生器試験室

** 50MW蒸気発生器試験室

**** 三菱重工(神戸造船所)

PNC TN941 77-104
June , 1977

Second Phase Test of the IMW Steam Generator

Progress of Operation, Dismantling and Cleaning

Eilichi Yamada*, Hitoshi Yasuda*
Satoshi Sato*, Mitsuo Kuroha*
Makoto Morimoto**, Hirokazu Kamei**
Eiji Ichikawa***, Shunji Okamoto**
and Kazuo Kawamada*.

Abstract

After finishing first phase test, the IMW Steam Generator was modified and second phase test was started from February 1973 and finished the test by June 1975. Then the steam Generator was dismantled, cleaned, and structural materials of the steam generator were externally inspected.

This is to report the progress of operation of second phase test, repairing of facility and to describe the details of dismantling and cleaning of the steam generator addng the explanations of external inspection with photographs.

Items clarified by the second phase test, followed by dismantling and cleaning were as follows:-

- (1) Modifications based on the first phase test results were effective to improve the performance of the steam generator.
- (2) It was demonstrated that the cleaning of steam generator by flushing mixture of steam and argon gases was safe and effective.
- (3) During the extenal inspection after dismantling, they were observed slight deformations, and in way of the tube supports, wearing of tubes, which was supposed to be caued by fretting, was also observed.

* IMW Steam Generator Section, Steam Generator division.

** 50MW Steam Generator Section, Steam Generator Division.

*** Mitsubishi Heavy Industries Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 第2次1MW蒸気発生器の運転経過	2
2.1 第2次1MW蒸気発生器の運転経過	2
2.2 補修改造工事	7
2.3 定期点検工事及び官庁検査	9
2.4 不安定現象による熱衝撃サイクル	10
2.5 ナトリウムの純度管理及び水質管理	10
3. 解体工事	15
3.1 解体工程	15
3.2 解体工事	17
3.3 配管中のナトリウム残存量	20
3.4 管束引抜き時の観察	25
4. 洗浄装置及び洗浄方法	28
4.1 洗浄目的と洗浄方法の選択	28
4.2 洗浄装置	31
4.3 洗浄方法	40
4.4 1MW SG の構造	40
5. 洗浄作業	49
5.1 洗浄作業	49
5.2 水蒸気量とナトリウム処理量	57
5.3 洗浄時のガス消費量	65
5.4 炭酸ガスによる処理効果	65
5.5 洗浄装置の問題点	65
6. 解体作業および解体検査	68
6.1 解体作業	68
6.2 検査状況	74
7. 結 言	101
8. 参考文献	102

図・写真・表リスト

図 2.1	1 MW SG 運転経過	3
2.2	P H 値及び電導度 (SG 給水入口)	12
図 3.1	解体工事工程	16
3.2	切断箇所	18
図 3.3	放出系配管切断位置	19
3.4	SG 入口配管切断箇所とナトリウム残留程度	21
3.5	SG 出口配管切断箇所とナトリウム残留程度	22
3.6	小リーグ配管内残留ナトリウム	23
図 4.1	1 MW SG 洗浄装置系統図	35
4.2	不活性ガス供給系	36
4.3	排気系本体詳細図	37
4.4	H ₂ 濃度測定ガス取出し位置及び蒸気注入口関係図	38
4.5	測定原理系統図	39
4.6	検出原理図	39
4.7	1 MW 蒸気発生器本体図	43
4.8	熱遮蔽管の構造	44
4.9	SG 上部図	45
4.10	伝熱管サポート部詳細図	46
4.11	内部シュラウド上部図	47
4.12	フランジ構造	48
図 5.1	1 MW SG 洗浄経過 - 1	60
5.2	" - 2	61
5.3	水素濃度測定経過	63
5.4	ブリーバ弁の構造	67
図 6.1	伝熱管 (A, F 管) 及びナトリウム配管の T, P 採取位置	61
6.2	サポート部 T, P 形状	73
6.3	ラブチャーディスク	74
6.4	ダウンカマ部液位計のナトリウム付着状況	75
6.5	伝熱管 U ベンド部寸法検査箇所	78
6.6	上方視図	79
6.7	伝熱管 U 部の内部シュラウド接触位置	80
6.8	伝熱管寸法検査位置 (A, F 管)	81
6.9	J 管寸法検査	83
6.10	周方向変形測定位置	84
6.1.1	サポート部断面図	85

図 6.1.2 ヘリカルコイル伝熱管サポート部のきず発生状況	8 8
6.1.3 コイルピッチ測定位置	8 9
6.1.4 コイルピッチ変形測定結果-1	9 0
6.1.5 " -2	9 1
6.1.6 ナトリウム配管ダウンカマのナトリウム流出孔位置	9 2
6.1.7 ナトリウムディストリビュータの変形	9 3
 写真 6.1 真空サポート枚ナトリウム付着状況	9 4
6.2 ラブチャーディスク上側ナトリウム付着状況	9 4
6.3 ラブチャーディスクカラーチエック	9 5
6.4 分離シユラウド外面の付着物(洗浄後)	9 5
6.5 分離シユラウド下部止めボルトクラック	9 6
6.6 通水下降A管上部スペーサ状況	9 6
6.7 通水下降A管下部スペーサ状況	9 7
6.8 通水下降F管上部スペーサ状況	9 7
6.9 通水下降F管下部スペーサ状況	9 8
6.1.0 ヘリカルコイル部外観	9 8
6.1.1 コイルサポート部クレッティングウェア(1)	9 9
6.1.2 コイルサポート部クレッティングウェア(2)	9 9
6.1.3 管を取り除いた後のサポート部	1 0 1
6.1.4 沸騰域近くで見られたコイル部ピッチの乱れ	1 0 1
 表 2.1 第2次1MWSG運転時間	6
表 4.1 ナトリウム洗浄方法とその得失	2 9
表 6.1 解体工事の工程	6 9
6.2 解体検査の概要	7 0
6.3 材料試験片用素材切出し仕様	7 2
6.4 伝熱管コイルサポート部T, P採取位置	7 3
6.5 伝熱管Uベンド部寸法測定結果	7 9
6.6 内部シユラウドとの接触位置	8 0
6.7 通水下降管寸法測定位置	8 1
6.8 通水管内 T/C 寸法測定	9 9
6.9 ナトリウム配管ダウンカマのナトリウム流出孔の変形測定	9 2

1 はじめに

1 MW蒸気発生器（以下 SGと略す）は1971年に第1次の諸性能試験を実施し、1972年には解体洗浄後、改造を行い1973年から第2次SGとしての性能試験を開始した。

以来、SG、下降管小リーク、ナトリウム純化系の閉塞等のトラブルを経験しながら1975年6月に諸性能試験を終了した。本報告書では小リークに至るまでの期間を第2次SG前期運転、その後の1974年7月から1975年6月の運転終了までを第2次SG後期運転と称している。

第1次SG運転以降の累積運転時間は約9,800時間（ナトリウム浸漬時間）でありナトリウム温度450°C以上は約6,000時間、SGへの通気時間は約4,600時間である。

運転終了後、SG本体内部構造物の変形の検討と材料検査のため、SGを設置状態のまま、アルゴンと水蒸気の混合気によるナトリウムの洗浄を行い、その後ナトリウム処理室において解体し、構造上の問題点を見出すための、寸法その他の検査を実施した。また材料試験を行うための試料の切り取りも行った。

本装置は今後、SG本体を不安定現象試験装置に改造され、水側の流動不安定現象及びDNB点近傍の管壁温度変動を解明するための試験が実施されている。

2 第2次1MW蒸気発生器の運転経過

2.1 第2次1MW蒸気発生器の運転経過

1972年第1次SGは取り外しのうえ、第2次SGとして改造されその年の末に据付を完了した。

SGの形式は一体貫流ヘリカルコイル式で、主な改造点は下記の通りである。

- 1) 伝熱管(STBA 2425.4φ)の肉厚を3.2mmから4.6mmに変更した。
- 2) 下降管にカバーガス層を設け収熱を少なくした。
- 3) ナトリウム液面制御を自動化した。
- 4) 温度計測点を増設した。

またナトリウムループにナトリウム中水素濃度計を増設している。

1973年1月第2次SGの調整運転を開始し水系およびナトリウムの浄化運転を経て、4月にSGに通水後ナトリウム温度300℃の水単相流試験中、伝熱管から小リーク事故が発生し試験を中断した。水リーク事故は1MWSG試験室においては始めての経験もあり、リーク確認試験、解体検査及び補修工事に際し慎重な検討を重ねた。水リークは下降管のカバーガス管溶接部⁷⁾に発生していた。リーク個所の補修は大気中で行ったので多量の付着ナトリウムが潮解(約4Kg)した。ナトリウム潮解によるアルカリ腐食を考慮して補修組立て後、高純度のナトリウムによる洗浄純化運転を行った。

SG洗浄運転は1973年6月から9月まで(この間コールドトラップ取替1回)行った。

1973年9月末にSG復元工事が完了し10月から運転を開始したが、ナトリウム純化ラインが閉塞し、その導通作業に約1ヶ月間を要した。11月中旬SGに通水しナトリウム温度を上げる過程で、2回目の水リークが発生し、直ちにリーク確認試験を行い、第1回小リーク時の手順による解体検査の結果下降管カバーガス管内の給水管スペーサー溶接部に割れを発見した。1973年11月末から12月末の期間に下降管全体の改造を行った。局部を大気開放して補修を行ったが乾燥期でありかつ短期間であったためナトリウムの潮解はほとんどなかった。復元工事後1974年2月下旬よりナトリウムによる洗浄運転に入り、引き続きSGの性能試験を行った。6月末までの長期連続運転では特にSG本体のトラブルもなく所期の試験を終了した。この間の運転時間は3640時間(450℃以上のナトリウムによる運転は1431時間)である。

1974年11月から1975年3月末まで、ナトリウム等温運転(ナトリウム温度500℃以上)を3100時間、更に4月から6月上旬まで性能試験を実施し、すべての運転を完了した。

以上の運転経過の概要を図2-1に示す。

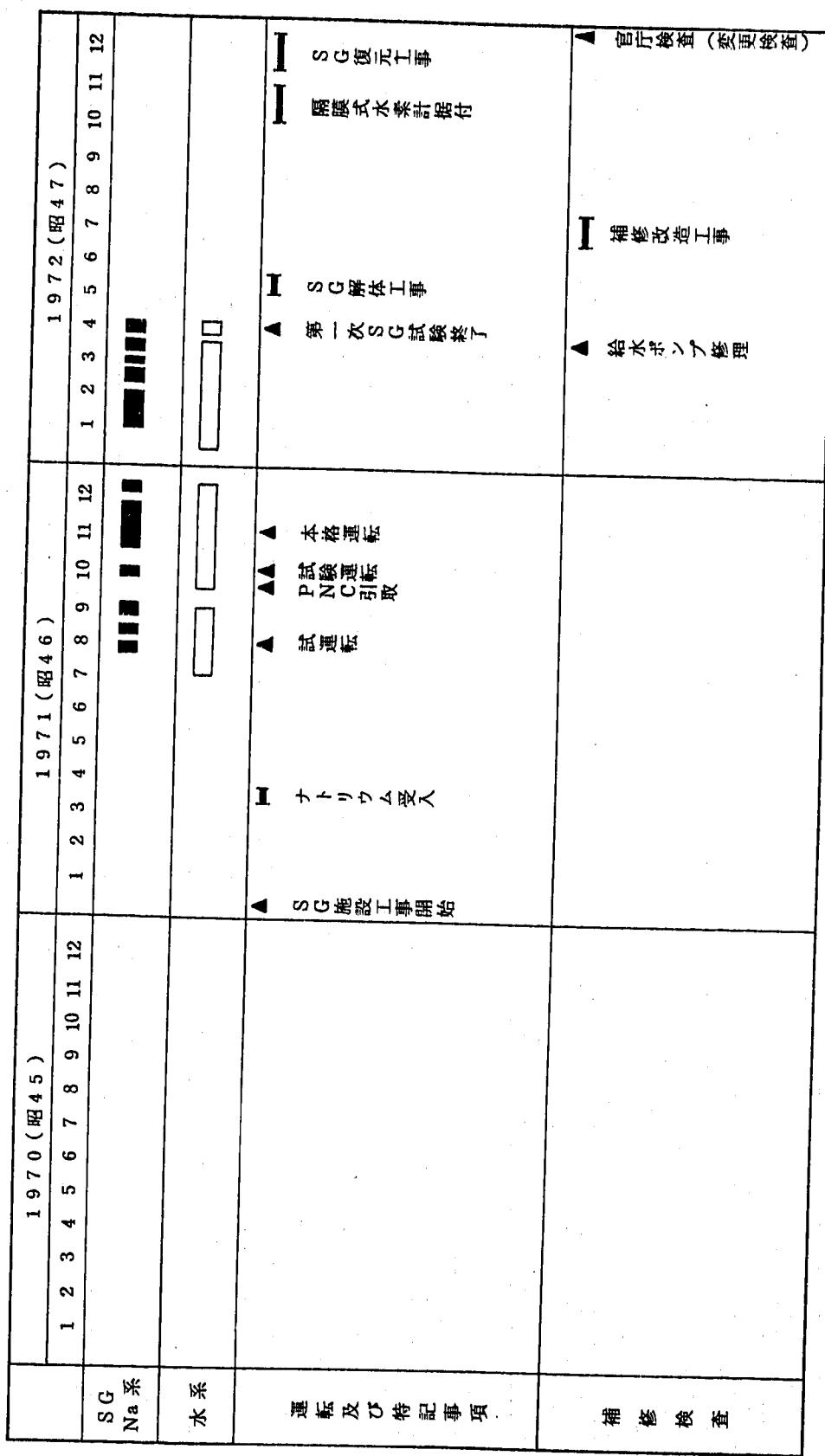


圖 2-1 IMW SG 運轉經週期 - (1)

1973(昭48)												1974(昭49)												1975(昭50)											
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												1 M WSG 解体工事											
SG Na系												水系												補修・検査											
試験及び特記事項												第一回 SG 小リーグ補修 復旧工事												第二回 小リーグ補修旧工事											
装置改造工事 (ITR試験装置)												静特性試験 第二次 SG Na試験運転												SG 等温運転											
▲ 第二回 小リーグ事故												▲ 第二回 SG 試験運転開始												▲ 第二回 SG 洗浄運転											
▲ ナトリウム純化運動												▲ 第二回 SG 試験運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ 第二回 SG 試験運転開始												▲ 第二回 SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ 第二回 SG 洗浄運転開始												▲ 第二回 SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始											
▲ SG 洗浄運転開始												▲ SG 洗浄運転開始																							

図 2-1 IMW SG 週轉經済 - (2)

1971年11月から1975年6月までのSG運転時間累積は9863時間でその内
450℃以上のナトリウムによる運転は6,027.5時間、通気運転時間4787.5時間である。

1973年2月から1975年6月までの運転を通算し、SG運転時間（SGに水、ナトリウムが流れている状態の時間）及びナトリウムの温度別運転時間は次の通りである。

SG運転時間（蒸気発生期間）

前期 1973年2月～1974年6月 延時間数 36625 Hr

後期 1975年4月～6月

運転開始		運転終了		時間数	延時間数
月	日	月	日	Hr	
4 / 7	14° 00	4 / 25	16° 00	410	
5 / 7	18° 00	6 / 6	13° 00	715	
					4787.5

表 2.1 第2次1MW SG運転時間

年 月 日	300℃以下	300~450℃	450℃以上	小 計	備 考
1973年	Hr	hr	hr	hr	
2/ 5~ 2/11	34	124		158	
2/16~ 2/28	65	234		299	
3/26~ 3/27	21			21	
4/ 3~ 4/11	40	123.5	38	201.5	
7/18~ 7/28	235			235	
8/ 9~ 9/ 7	699			699	
10/ 1~10/17	345	42		387	
10/27	2			2	
10/27~10/30	61			61	
11/ 2	1			1	
11/ 7	5			5	
11/16~11/19	63.5			63.5	
11/26	14			14	
	(1585.5)	(523.5)	(38)	(2147)	
1974年	Hr	hr	hr	hr	
3/ 2~ 4/10	531	287.5	102.5	921	
4/21~ 6/28	138.5	143.5	1290.5	1572.5	
7/ 4~ 7/11	15	158.5		173.5	
9/24~10/13	50.5	4	375.5	430	
11/ 1~12/21	85	77.5	1042.5	1205	
				(4302.0)	
1975年					
1/ 7~ 2/ 8	20	15	732	767	
2/16~ 5/ 2	157.5	16	1634.5	1808	
5/ 7~ 6/11	3	24	812	839	
				(3413)	
第2次1MW SG後期	1000.5	726	5989.5	7716	
" 前期	1585.5	523.5	38	2147	
合 計	2586.0 ^{hr}	1249.5 ^{hr}	6027.5 ^{hr}	9863 ^{hr}	

2.2 補修改造工事

2.2.1 第2次SG後期運転前補修改造工事

前期運転後、次の整備、改造を行つた。

工 事 経 過

	(期 間)	(工 事 内 容)
1974	7月13日	安全弁補修 SV201, 202, 203
	8月 8日	純水装置モノベット樹脂交換
	8月19~21日	給水ポンプ部品交換
	8月19日	電源バッテリー増設
	8月29日~9月3日	水系過冷却器、補給水冷却器交換
	9月2日~9月10日	放出系配管ヒーター巻保温 スパークプラグ取付工事
	9月5日~10日	コールドトラップヒータ交換工事
	10月14日~16日	コールドトラップ交換工事
	10月31日	主加熱器用補助電源本設工事
	12月3日	コールドトラップダンパー制御系修理
1975	3月12日	給水ポンプパッキン入替
	3月26日	計装修理、真空計、記録計
	3月28日~29日	SG出入口精密圧力計取つけ工事
	4月10日	ガスクロ修理
	4月11日	給水ポンプガスケット交換
	"	放出系収納容器ラブチャーデスク交換
	4月15日	ガスクロ修理
	"	隔膜式水素計加熱器ヒータ補修
	5月28日	連続式ナトリウムレベル計パワーユニット交換

2.2.2 ナトリウム系機器

ナトリウム系機器で補修を行つたもののうち主要なものを列記する。

1) ナトリウムサンプリングライン

この設備はナトリウムのオンラインサンプリングを目的として取付けた。1974年2月の運転時からナトリウムの流通がなくなつた。このラインには流量計及びポンプは

ないが、各部温度から推定された。入口側のナトリウム温度340°C~360°Cに対してラインの温度は145°C~160°Cであった。ヒーター電源の制限もあって、予熱温度昇温は140°C~160°Cが限度である。その後550°Cに加熱できる電源に改良し導通を図った。

2) コールドトラップ交換

1973年10月から使用を開始し、1974年10月に解体した、この間の運転は延3180時間である。

このコールドトラップは撤去のうえ同型のものを設置した。

3) ブラギング計

流量比が1973年2月の調整時に83%であったものが1975.5月には46%まで低下した。これらは電磁ポンプの電圧を調整しても比率は46%と変らず、除算機以降の計器は点検の結果、異状がなく原因はオリフィス配管のつまり、または流量計出力信号の低減と考える。

2.2.3 水 系

前期運転の末期、水系機器の一部に故障があったが運転は継続できた。これらの修復後は水系については特に運転上支障となる機器はなかった。

補修した主な機器について次に述べる。

1) 過冷却器

SG 前期運転時(1973年4月)に管板表面エロージョンにより穴があき交換した経緯があり1974年3月冷却水に温水が混入したのでリークと判断して8月交換工事を行った。対策として冷却水の通る内面に亜鉛メッキを施工した。

リーク原因は管-管板溶接部の工作不良のため腐食孔が発生したものと思われる。溶接部以外の管板表面のエロージョンの進行はみられなかつた。

2) 補給水冷却器

1974年の定期点検時にすでに管板エロージョンが著しかつた。腐食個所は冷却水入口側管板の冷却水水位近傍に多くみられた。

3) 給水ポンプパッキング

ポンプの構造上定期的にパッキングの交換は余儀ないものであるが、不良パッキングを抜き出して観察した限りパッキン全数(6枚)が不良とはみえなかつた。1975年3月の交換は試験的に上から二枚を(3シリンドラ分)新品と交換し経過を観察したが、パッキングの効果は、全数新品の場合と大差なかつた。

1975年4月No.2シリンドラガスケットよりリークがあり予備品と交換した。

2.2.4 SG系(放出系含)

1973年第1，第2回小リーク補修後の運転においてSG本体の異状はなかった。本体以外では過渡的な連続試験を計画したので放出系配管にヒーター保温を施工し、更にラブチャディスク後にスパークプラグを取りつけ大リーク、ナトリウムー水反応に備えた。

2.2.5 計測制御系

計装関係の補修は4点あるが主な項目はガスクロ修理、C.Tダンパー制御回路である。

1) カバーガス中水素計(ガスクロ)

ナトリウムー水反応を検出する機器としてガスクロが重要なことは前期小リーク事故例から経験を得た。ガスクロは1971年に新設し1972年5月～12月定検補修を行い1973年にはサンプリングラインにポンプを設置した。この間、濃度指示、調整において小さい故障を経験しているが、後期運転ではこれまでと違った個所の故障を経験した。後期運転中、記録計リレーの接点不良及びキャリヤガスの圧力不足による指示不良があった。

ポンプ設置は検出時間を少しでも速くするのが目的であったが効果は余りなかった。5ℓ/minの性能の排気量で機械的に吸排気されるので吸気側のフィルター(10μ)のつまり又は吸気配管(6φ)のつまり、ペーパートラップのつまり等が1日1回位の割合で発生し、復旧にかなり時間を要した。そのため1975年4月にはポンプの使用を止めたが、この方が結果的につまりが少なかった。

2) ナトリウム中水素計

SG運転中におけるナトリウム中への水漏洩事故時の検出器として、ナトリウムー水反応の際発生する水素を隔膜を介して真空系へ導いて質量分析器や電離真空計で検出し水漏洩事故発生を早期に検知することを目的として1972年11月設置した。その後、1年間改良を加え乍ら使用し、1973年4月及び11月の2回にわたるSG内ナトリウム中への水の小漏洩を検知したが、真空計のフィラメントの変形や断線の故障や隔膜からのナトリウム漏洩などにより使用不能状態になるなどの問題が発生した。

2.3 定期点検工事及び官庁検査

1) 定期点検工事

期間 1975年2月3日～2月15日

目的 官庁検査のための整備点検工事である

整備項目

- (1) 凝縮器一清掃及び点検グリス入
- (2) 複水タンク及びフラッシュタンク一開口内部点検

- (8) 給水加熱器 - 配管切断開口内部清掃
 - (4) 脱気器 - 開口内部清掃
 - (5) 冷却器(2ヶ) "
 - (6) 安全弁(9ヶ) 分解手入れ
 - (7) 空気作動弁(17ヶ) "
- 2) 官庁検査(性能検査) 2月10日
- 開放検査
- 耐圧試験 2月13, 14日実施
- 結果合格
- 認可期間 自50年2月
至51年2月

2.4 不安定現象による熱衝撃サイクル

安定性試験は1975年5月21日より6月4日まで行い22ケースのデータを得た。又、1サイクル当たりの時間を5sec平均とし、1ケースの不安定流動継続時間は20分～30分であり、温度差は伝熱管外壁温度で最高±15℃前後であった。

伝熱管に与えられた熱衝撃繰り返し数の概算値は下記の通りである。

後期における熱衝撃サイクル数

不安定流動 平均時間25分

$$22 \times 25 = 550 \text{分}$$

1サイクル時間 5 sec

$$\frac{550 \times 60}{5} = 66 \times 10^2$$

前期におけるサイクル数との合計

前期の1サイクル時間平均4secとした。

$$\frac{560 \times 60}{4} = 84 \times 10^2$$

合計

$$1.5 \times 10^4 \text{ サイクル}$$

2.5 ナトリウムの純度管理及び水質管理

1974年7月以降水系を除くナトリウムだけの高温循環運転は7月及び9月～1975年3月まで延べ3,619時間行われた。この期間の運転ではプラギング計によるプラグ温度

は110℃以下でありコールドトラップの制御温度も115℃を保持した。

ナトリウム等温運転に引き続き4月7日より水系ナトリウム系の総合試験に入ったがプラグ温度は110℃以下を継続した。

後期の水系起動は1974年9月SG運転を目標に約1週間採水及び系内のフラッシングを行ったが都合により中断した。

1975年4月の50MWSG運転終了後、1MWSG運転に移行し直ちに運転開始、系のフラッシングも順調に進み、4月7日SG通水後諸性能試験に入った。水質管理において報告書⁽¹⁾で述べた如く、P.H及び電導度の調整はヒドラジンの投入量を加減して行った。図2.2にこの期間のPH、電導度の記録を示す。なお、この期間のクラッド濃度は0.1ppm以下である。クラッド濃度が基準値(0.05ppm)を上回る結果となったのは流動不安定試験に起因するものと考える。後期運転の採水使用量は約369ton/2160時間であった。

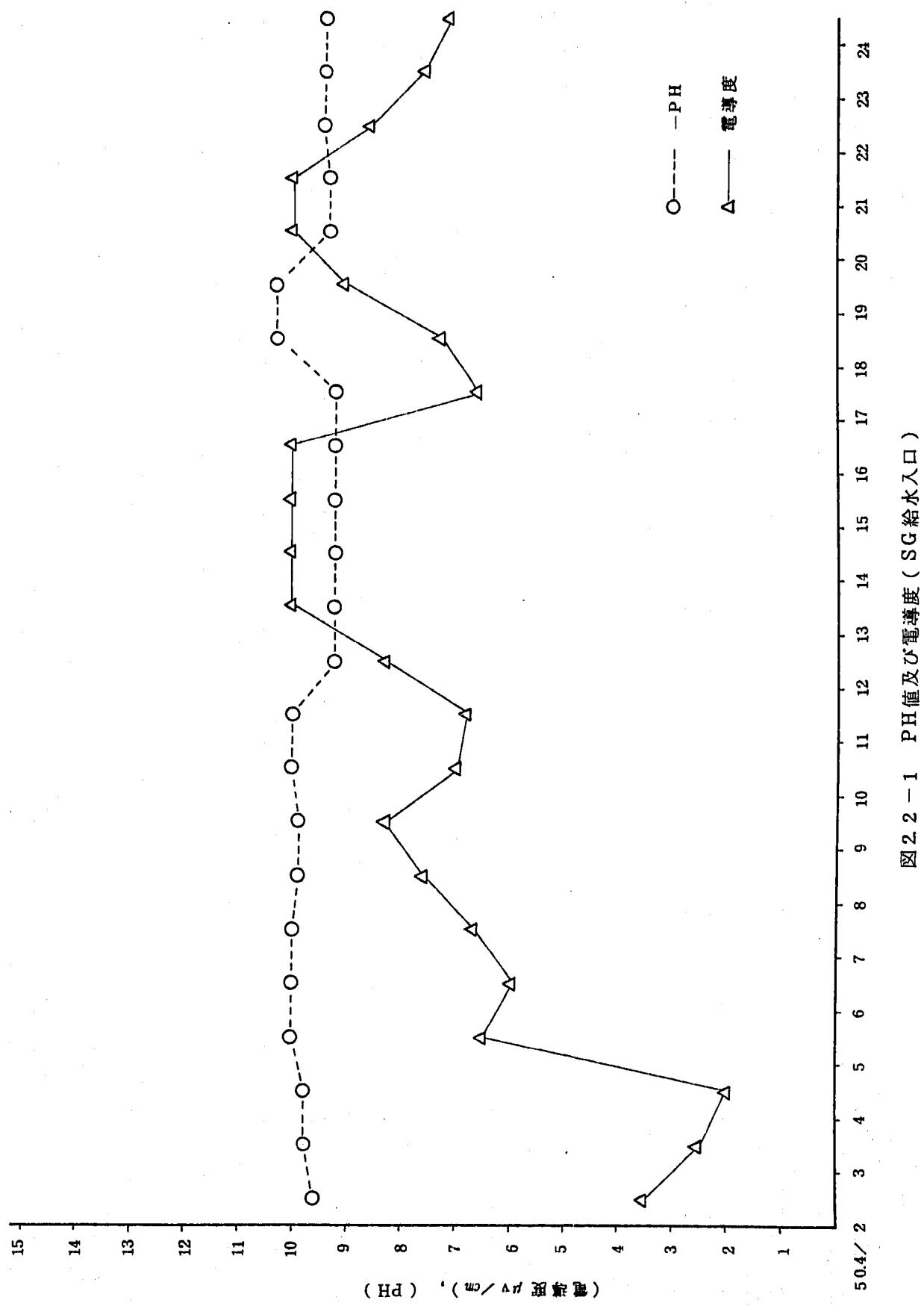


圖 2.2-1 PH 值及C電導度 (SG 給水入口)

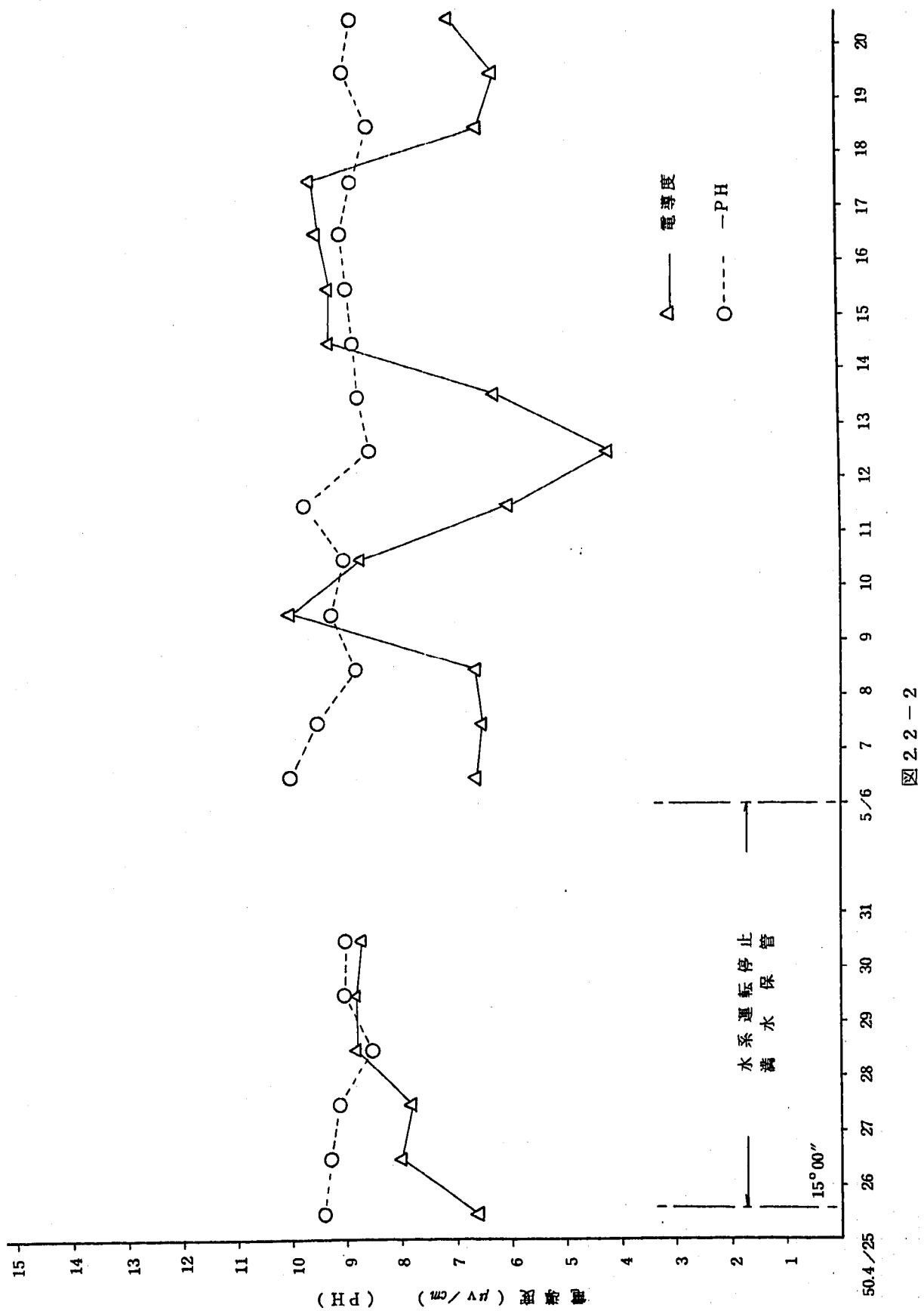


図 2.2-2

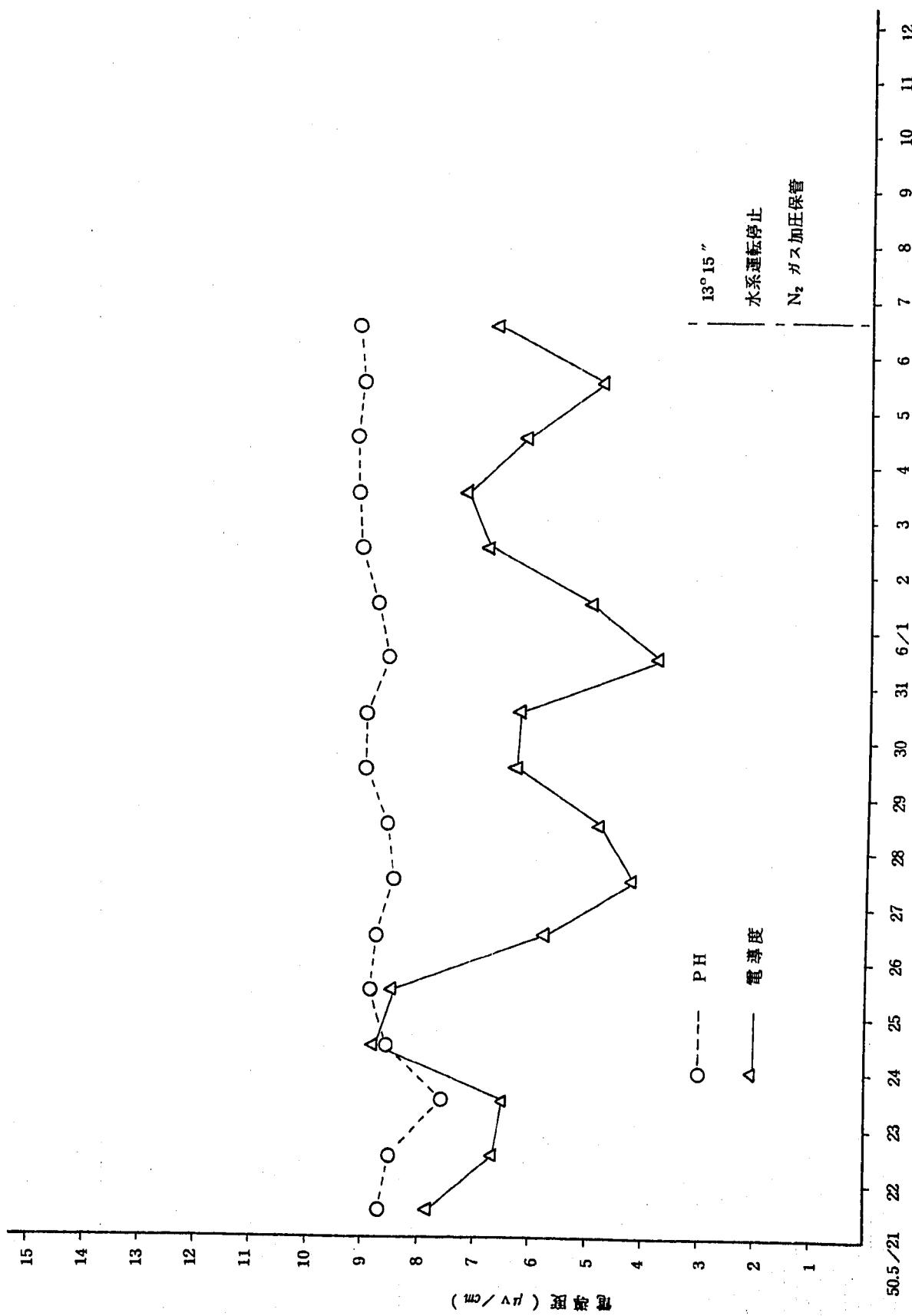


図 2.2-3

3 解 体 工 事

第2次1MWSGにおける諸性能特性試験終了後、構造物及び構造材料の検査のため1975年7月に解体洗浄工事を行った。第2次SGは下降管からの水リークによる補修工事が2度あり、それらはSGの据付状態のまゝ大気中で修理を行ったので⁽⁵⁾その修理法についても評価を行った。解体作業前のSG内付着ナトリウムの洗浄方法については1975年5月に行われた50MWSG解体洗浄工事⁽⁶⁾の経験があること及び材料試験上洗浄条件をそろえるため50MWSGと同様の方法を採用した。

3.1 解体工程

工事は単にSG本体の撤去だけでなく構造及び材料等の観察、寸法測定、附着粉末及び試験片素材の採取までを含めたもので、工期は35日（実質工事30日）であった。

図3.1に工程の予定と実績を示す。特別項目としてSG洗浄前に洗浄後の表面観察と比較するため管束を引き上げてナトリウムの附着状況の観察を行った。

以下、解体工事手順の概要を述べる。

ナトリウムドレン SG内のナトリウムドレンは高温ドレンが実績上効果があり350°C等温運転後に行った。またドレン後、ドレン弁を開閉のまま予熱温度220°Cに約40時間保った。

接続配管切断 SG本体に接続している配管（給水、蒸気、ナトリウム出入口、ドレン、ガス、ダミー管など）、放出系計装組線を切離し、本体を単独にする。

管束部仮吊り 本体をピットに入れ、管束を仮吊りしナトリウムの附着状況、変形等を観察し洗浄のため再挿入する。

SG洗浄 本体を据付けた状態で、洗浄装置を接続し、アルゴンガスと蒸気にによる洗浄後、炭酸ガスにて後処理を行う。

SG諸検査 洗浄後受皿上において寸法検査、溶接検査（カラーチェック）、変形観察を行う。

TP素材切出し 分離シラウドの切断

材料試験に供する部分の素材切出し刻印

残材整理 SG本体の残材、架台、配管などの廃棄処分

項目	1975年7月										8月			
	10	15	20	25	31	1	5	10	15	10	15	10	15	10
保温材撤去・足場組立	■													
計装動力線撤去		■	■											
ガスクロ・酸素計移動	■													
配管切断・盲板溶接		■	■											
架台解体・レベコン移動		■	■											
本体吊上げ・ビットイン		■												
管束吊上げ			■	■										
諸検査						■	■	■	■					
再組立・洗浄準備					■	■	■	■	■					
洗浄														
解体ビットイン						■	■	■	■					
管束移動受皿整備・シュラウド切断														
シエル・ライナー抜き								■	■					
諸検査・素材切出し														
残材整理														

図3.1 解体工事工程（□：予定 ■：実績）

3.2 解体工事

3.2.1 ナトリウムドレン作業

1975年1月から3月末までナトリウム500℃の等温运转を行い4月6日から6月10日まで性能試験を行った。ナトリウム温度500℃におけるプラグ温度は110℃以下(6月7日)であった。6月11日0時ナトリウム温度500℃より降温を開始し9時(350℃)まで下げその後13時までSGループ循環維持した。ダンプタンクの熱衝撃を避けるためタンク温度は140℃から290℃(6月12日12時)まで昇温した。

ナトリウムドレンは13時より開始し約1時間に亘って、徐々に5ヶのドレン弁を開いて行った。

SG内のナトリウムは滴状に残っていると考えられるのでSG予熱温度を220℃に設定した。ナトリウムドレン後6月13日9時まで約40時間ドレンを継続した。またSG廻りのガスクロ用ペーパートラップ、下降管用ペーパートラップ配管、SGレベル制御用ペーパートラップ等は6/13、9時から13時までヒーターを入れてナトリウムを溶出させることを試みた。

3.2.2 工事開始

SG解体作業は7月10日より開始し、足場組立酸素計、水素計の移動など工事の準備を行った。

3.2.3 配管切断と残留ナトリウム

SG本体に接続している配管の切断作業は7月14日より開始した。図3.2に切断箇所を示す。

a 放出系配管は12Bと10B(STPA)の二重管で肉厚10mmのためガスで切断した。12B管の底部にナトリウムベーバーの付着があり、小リーク配管接続部より更に下流の方まで付着していた。

図3.3に放出系配管の切断位置を示す。

放出系ペローズの撤去の際ラブチャーディスク上面にナトリウムの付着がみられた。

b 給水入口、蒸気出口切断部は両口をSTPA-24管にて接続し水系ループの運転が行えるようにした。水蒸気系の圧力発信器、流量計、弁などはアルゴンガスシールを行った。

c SGナトリウム出入口の切断部は管内より不活性ガスを流出させながら行うためドレン配管より切断した。SG出口配管は3B sch 10(SUS27)で底部に少量のナトリウムが残っていたがドレン管は2B sch 10(SUS27)でナトリウムは殆んどなかった。ドレン弁、出口弁、切断箇所には盲板を溶接した。ナトリウムリングヘッダーエントリーパイプ(2B sch 10 SUS27)の切断箇所には多量のナトリウムが残留していた。

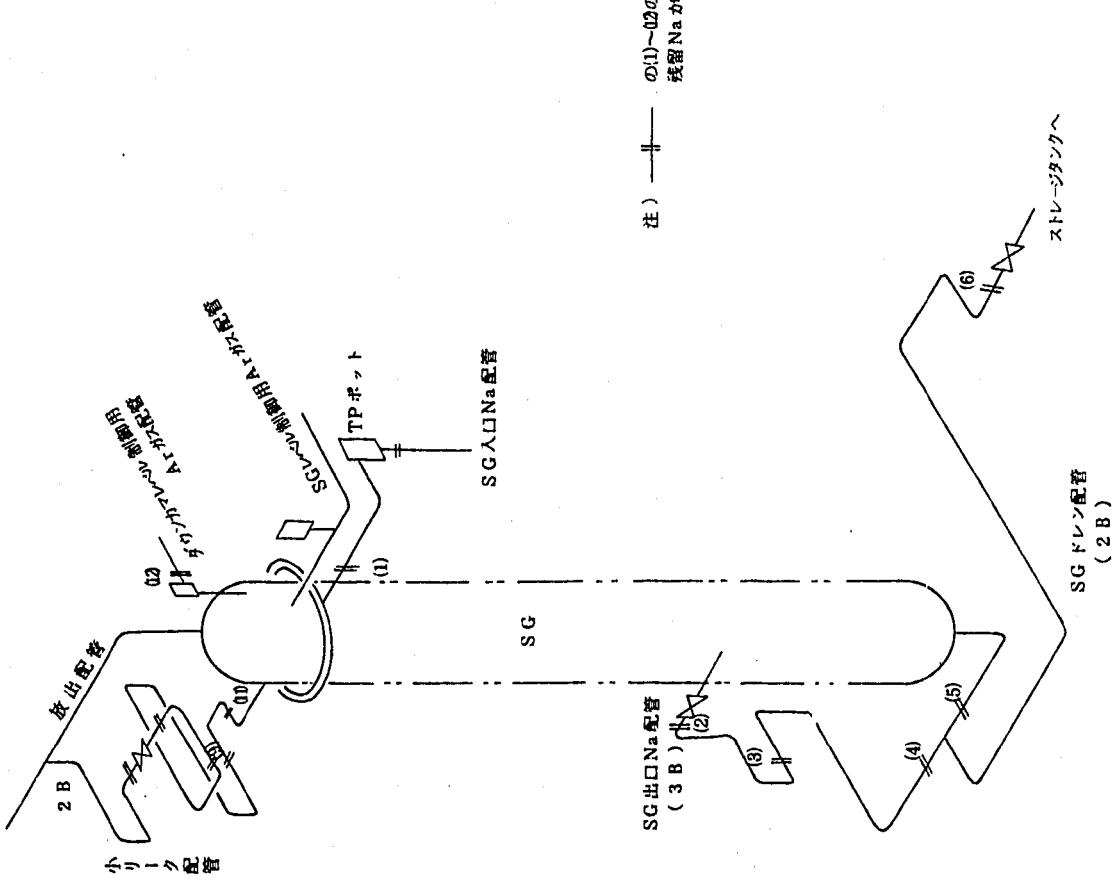


圖 3.2 切斷個所

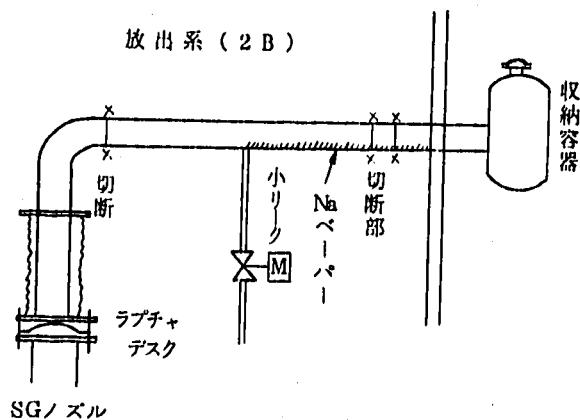


図 3.3 放出系配管切断位置

入口ループ側のテストピース用ボットのテストピースはナトリウム中浸漬時間が約1400時間で取りはずしの上洗浄保管した。

ダウンカマーガス呼吸管の配管1B sch 40 (SUS 27)にはナトリウムが断面の9割相当詰まっていた。運転中の制御動作不良はこれが原因と思われる。

小リーク用配管SG側では2B管(SUS 27)底部にナトリウムベーパーおよびナトリウムがみられた。これは系の電動弁にもれがあって常時 $0.5 \sim 0.3 \text{ kg/m}^3$ 圧力のカバーガスが流出していたためと考えられる。

配管中のナトリウム附着残量については3.3項で述べる。

3.2.4 管束吊上げ

SG本体をピットに収容する作業は順調に進行した。フランジのリップ溶接部の除去は初めグラインダーではつりOリング外側にナトリウムのないことを確かめてから能率のよいガス切りにきりかえた。

押しボルトによるうかしも6ヶ所にセットし容易にうかすことが出来た。5~6cmうかしてシール状況をみた所2方向に少量であるがOリングをこえたナトリウムがみられた。吊上げは、透明ビニールカバー内にアルゴンガスを供給しながら徐々に行つた。アルゴンガスのSG入口は下降管、ガス供給管を利用した。

3.2.5 洗浄準備

管束内部シュラウド上面の付着ナトリウムはできるだけ除去し、洗浄を容易にした。

管束を外胴に挿入して洗浄準備のため再組立てを行つた。フランジリップ部のシールがもれないかと懸念されたが、Oリングを新品と交換したことによって洩れはなかった。

再組立てはSG本体を引上げて基礎プレート板に据え付け、洗浄用装置の設置にはSG頂部の廻場を利用した。

再組立てと併行して洗浄装置の組立てを行つた。

3.2.6 SG洗浄

洗浄作業はPNCの手で行い、7月26日より28日の3日間で一応終了した。この作業ではSG構造材のアルカリ腐食等の問題もあるので洗浄開始後短時間で終了する必要がある。又、安全面から水素濃度を2~3%以下で洗浄を行う必要もあり、一日目は深夜作業となつた。

炭酸ガス封入処理には、28日29日の約60時間を放置状態とした。

3.2.7 SG諸検査

管束受皿の組立て、SG本体のピットイン、管束引上げの手順で管束および外胴(約5ton)の室外移動を行つた。管束部(約6ton)は、損傷しないよう16tonクレーン車で慎重に引き出し、トラックに横積みし解体諸検査のため50MWナトリウム機器室内移送した。

外胴のライナーは引抜き金具をとりつけたことにより容易に抜くことができた。

ライナ外側継手バンド上部にはナトリウムが潮解洗浄された跡がみられた、又、バンド部(4ヶ所)には鉄粉がかなり堆積していたが工事によるものか、運転中に堆積したものか不明である。

管束部表面は一様に黒い地肌であった。炭酸ガスにより固形化した白い粉末が熱電対の心線を伝わって分離シュラウド上部に分散しているのが一部みられた。

諸検査は主に溶接部分のカラー・チェック寸法検査、変形検査などで8月4日より7日まで行つた。

3.3 配管中のナトリウム残存量

SGに接続しているナトリウム配管及びアルゴンガス配管にはナトリウムが残留していた。配管構造上の検討資料としてその都度残留ナトリウムの観察を行つた。SGに接続しているナトリウム配管及びアルゴンガス配管は次の通りである。

- 1) SG入口ナトリウム配管
- 2) SG出口ナトリウム配管及びドレン配管
- 3) 小リーク配管
- 4) 放出配管
- 5) ダウンカマレベル制御用アルゴンガス配管
- 6) SGレベル制御用アルゴンガス配管

なお、SGレベル制御用アルゴンガス配管(2B)を除くすべての配管に多くのナトリウムが残留していた。

次項にナトリウムの残留程度と推定残存量を示す。

なお算出式は容積×比重で、比重0.97として算出した。

3.3.1 SG入口ナトリウム配管

ナトリウム入口配管はナトリウム循環時には最上位のレベルである。

図3.4に示す様に4ヶ所を切断した。そのナトリウム付着状況は以下の通りである。

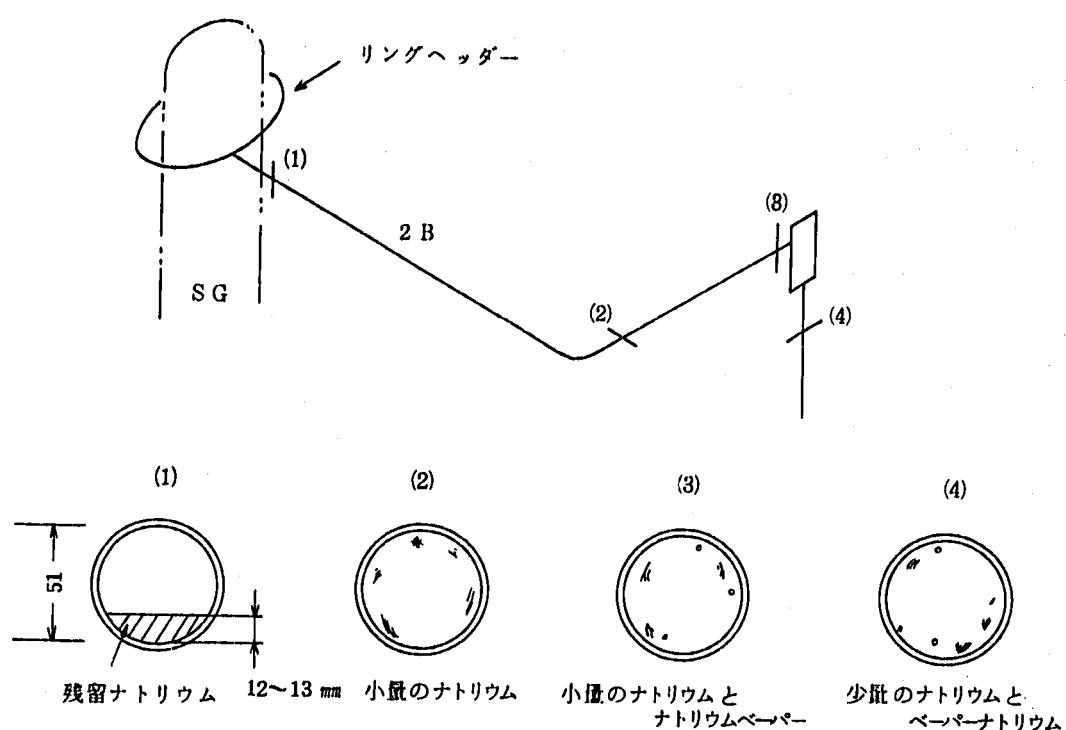


図3.4 SG入口配管切断箇所とナトリウム残留程度

上図の様に、ナトリウムはリングヘッダー部⁽¹⁾に多く見られた。これはリングヘッダーに殆んど勾配がないためと思われる。また、他の3箇所にナトリウムが見られなかつたのは、(3)から(1)に向って勾配があつた為と思われる。

以上の事から残留ナトリウムはリングヘッダー内だけとして推定計算を行つた結果約1.9 Kg程度となつた。

3.3.2 SG出口ナトリウム配管及びドレン配管

ナトリウム出口配管を5箇所、ドレン配管を5箇所、図3.5に示す位置で切断し、配管洗浄を容易にした。残留ナトリウムの状況は以下の通りである。

図3.5のよう、バルブ、V-2、V-105付近などの管内部に多くのナトリウムが見られた。

V-2、V-105のバルブ付近に残留ナトリウムが見られたのは、予熱時間が短かつた事、又バルブの構造上弁シートが高くなっているためと思われる。又、その他の管内部

3.3.2 SG出口ナトリウム配管及びドレン配管

ナトリウム出口配管を5箇所、ドレン配管を5箇所、図3-5に示す位置で切断し、配管洗浄を容易にした。残留ナトリウムの状況は以下次の通りである。

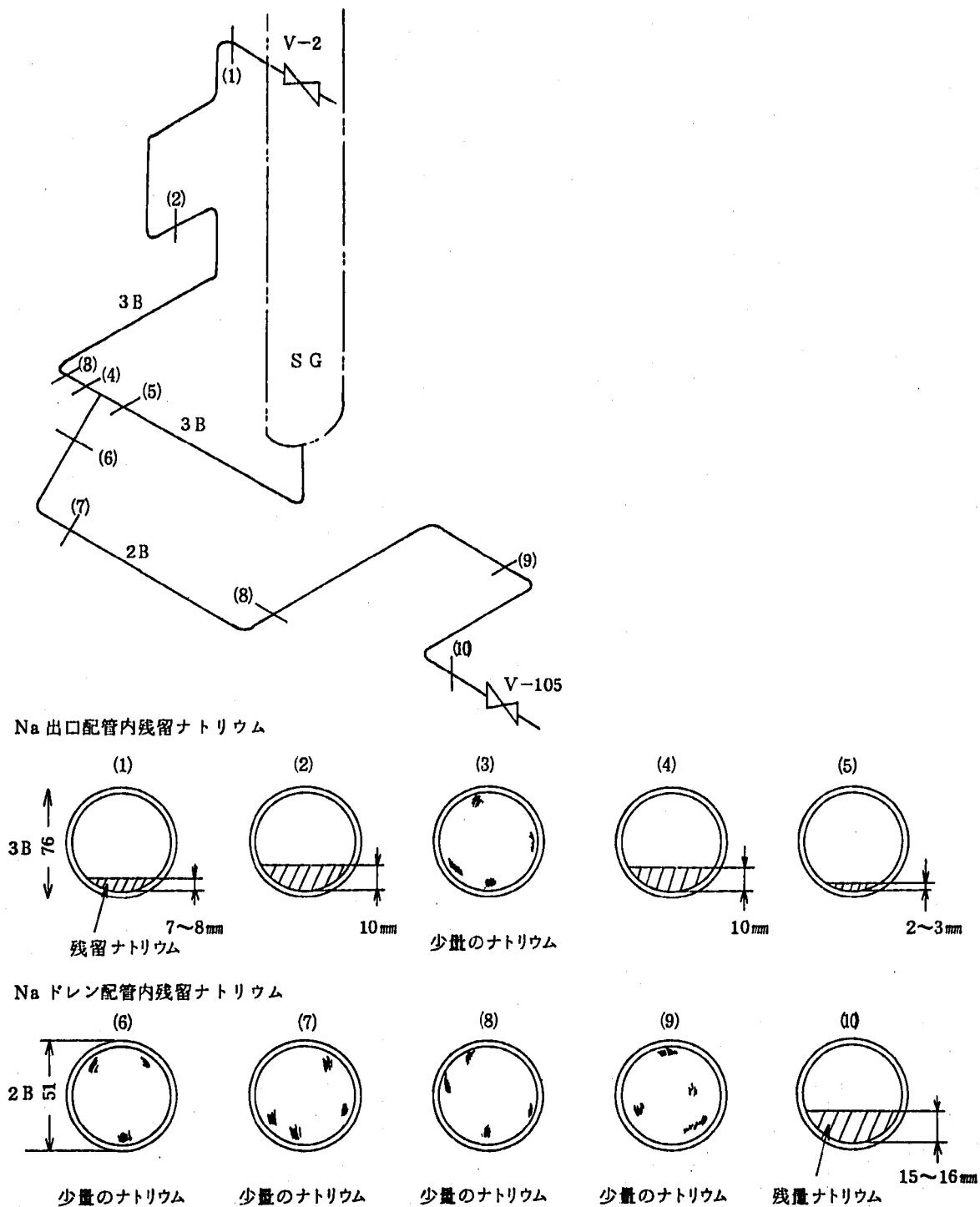


図3.5 SG出口配管切断箇所とナトリウム残留程度

のナトリウムは構造上最低部レベルでありドレン管が2Bに絞られているので底に残つたものと考える。

以上、切断箇所(1)は切断箇所からバルブV-2までの360mm

" (2)は切断箇所から前後400mm

" (4), (5)は異材継手寸法200mm

" (10)は切断箇所からバルブV-105までの1200mm

のところ残留ナトリウムがあると推定した計算では約1.2Kgである。

3.3.3 小リーク配管

小リーク配管の切断箇所は図3.6の番号に示す9箇所で、各切口のナトリウム残量状況を以下に示す。

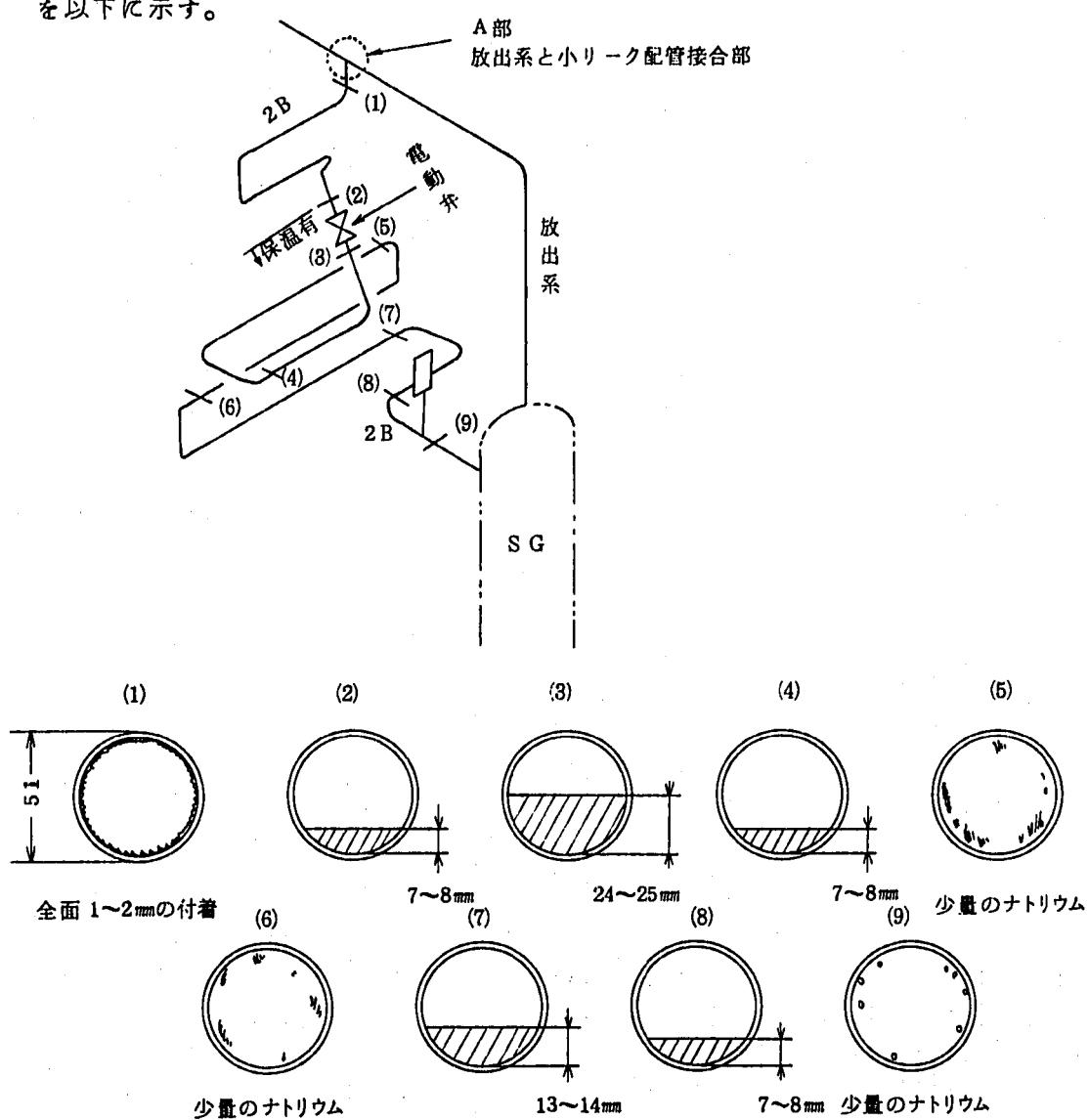


図3.6 小リーク配管内残留ナトリウム

小リーク配管内にはかなりの残留ナトリウムが見られたが、電導弁は常に全閉の弁であるがシート漏れがある為、ナトリウムが流れ込んで、保温のしていない弁下流に付着したものと思われる。又小リース配管と放出系配管の接合部(A部)にも残留ナトリウムが見られた。これは、SG電動弁を運転中「開」とした為、ナトリウムのペーパーが流れ込んだものと考える。

以上の観察から、

切断箇所(2)からバルブまでの 800 mm

" (8)からバルブまでの 800 mm

" (4)から前後 600 mm

" (7)から(8)までの 1000 mm

のところに残留ナトリウムがあると推定した計算では約 1.4 Kg である。

3.3.4 放出系配管

放出系ベローズの解体時、ラブチャーディスク上面周囲に多量のナトリウムが見られた。

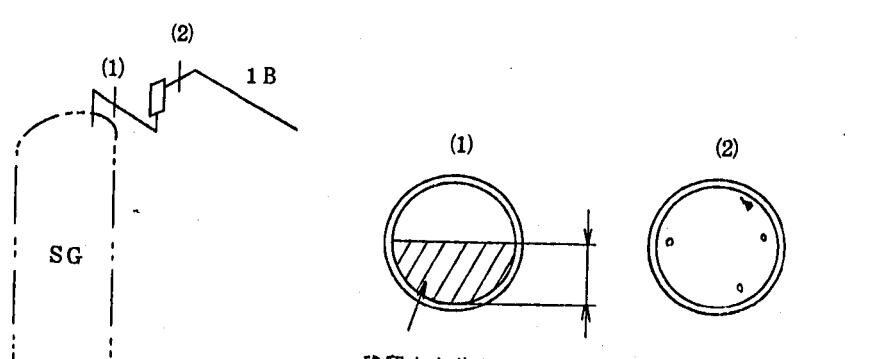
このラブチャーディスクを洗浄した結果、2箇所の割れ傷があった。これは腐食によるものか、取付け上の不具合によるものかは、不明である。

また、ラブチャーディスク以下の SG ノズル配管にはナトリウムペーパーが多量固着していた。

以上の観察結果、残留ナトリウムは 500 g 程度であった。

3.3.5 ダウンカマレベル制御用アルゴンガス配管

ダウンカマレベル制御用アルゴンガス配管の切断部は下図の2箇所で口径の 2/3までナトリウムが残っていた。状況は以下の通りである。



上図のように多量のナトリウムが残っていた。これは SG へナトリウムチャージする際真空に引いているので容積の少ない下降管ガス層から急速にガス供給管へナトリウムがチャージされたものと考える。(2)の切断口からみるとペーパートラップへのナトリウムの浸入はなかつた。

以上の状況から、切断箇所(1)から 150 mm 前後にナトリウムが残っていると推定し計算

結果は約 140 g である。

3.3.6 配管ドレンの考察

解体前の 3 回のドレン経験から完全ドレンを目標に高温ドレンに切りかえたが結果として、前項に述べた如く多量のナトリウムが残っていた。

原因として次の事が考えられる。

- (1) 第 2 回小リーク補修工事後の復元において配管の勾配が完全でなかった。
- (2) 熱温度を上げたとしても配管中の完全ドレンは難しい。
- (3) 小リーク配管内の残留ナトリウムは小リーク補修時には除去洗浄をしなかつた。
- (4) ダウンカマーアルゴンガス配管は、 SG にナトリウムをチャージの際誤操作でオーバーチャージされた。以後度々ガスの導通を行つたが、温度チェックと共にアルゴンガスで押し出す操作はしなかつた。

以上の点から、配管工事では勾配の確認、ナトリウムドレンについては細心の注意が必要と考える、配管中のナトリウム残量推定は 5.14 Kg (ナトリウムリングヘッダー含む) である。

3.4 管束引抜き時の観察

配管中のナトリウム残量が予想以上であったので SG 内のドレン性も懸念された。しかし SG 内はよくドレンされていた。

引き抜きはビニールカバー内にアルゴンガスを充填しながら徐々に行つた。以下 SG 内部表面の観察を述べる。

3.4.1 上部鏡板内部

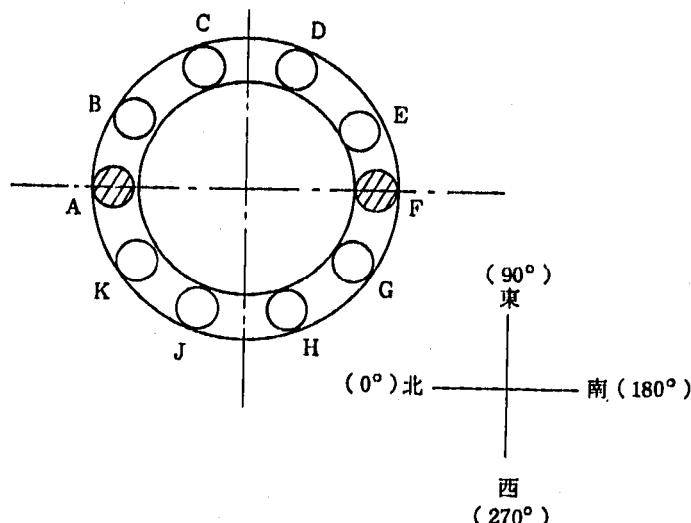
熱電対が繁雑に配線されていてガス配管およびサポート、レベル計と交錯しており、これらの表面には灰色のナトリウムが粒状又は層をして蒸着していた。吊り金具、サポート等の損傷はなかつた。

3.4.2 管 束 部

内部シュラウド上部の平面部にはナトリウムが全面に堆積し灰色の粒状に固着していた。残量としてはこの部分が最も多量であった。

分離シュラウド側面はガス領域とナトリウム液面との境界が色で判別できた。ガス領域の表面は薄い乳白色でありナトリウム領域はぬれた鋼材のような感じである。(ナトリウムの潮解したものではない。)

3.4.3 下降管の観察



下降管配列を下図に示す。

A管, F管……通水管

その他……ダミー管

下降管は分離シラウドに3点のサポートによって止められているが、幾分曲がりがあった。

H管, J管の下降管下端のUペント部は、分離シラウドに接触していた。

E, K管は分離シラウドとの距離は2~3mmであった。Uペント部が内部シラウドに接触している管はH管とE管であった。

・下降管のすり傷

ダミー管(H管)にすり傷が上部から下部まで全体にみられ、小リーク補修時のブランシングによるものと思われる。

・下降管の曲り

ダミー管(J管)のガス領域において、分離シラウドからこの管まで最大10mm程度の大きな曲りが見られた。

3.4.4 シエル・ライナ, フランジ面の諸観察

・シエル, ライナ共に白色のナトリウム化合物が薄く全体に付着していたが量は少なかった。

・フランジ面はOリングによってリップシール部までナトリウムの浸透を防いでいるが、一部だけナトリウムがリップシール部まで浸透しておりOリング内側のフランジ面にも白色のナトリウム化合物が薄く付着していた。

3.4.5 管束引抜き後の処置

1) アルカリ腐食試験用TPの採取 刻印

- カバーガス中TP 2本 B-C管 (A)
- G-H管 (B)
- ナトリウム中TP 3本 B-C管 (D)

G - H 管 (C)

J - K 管 (無 C)

2) 内部シラウド上面の残留ナトリウム除去

内部シラウド上面には、黒灰色のナトリウム化合物が多量に付着していたので蒸気洗浄の前にできるだけ取り除いた。その量は 250 g 程度であった。

3) 管東部の再取付け

管東部の目視観察終了後、SG洗浄の為、管東部の再取付けを行った。

シエルガイドに沿つて管東部をゆっくり降し、伝熱管及びダミー管に損傷を与えない様注意を払った。

また、フランジ面をきれいに清掃して、新しいOリングを取り付け、上部フランジと下部フランジの密着を行つた。

リップシール部にはガムテープを巻き、最後にフランジボルト合計32本を取り付け、作業を完了した。

4) ナトリウムドレンの検討

SG仮吊上げにおいて観察の結果、SG鏡板内部のカバーガス層およびナトリウムリングヘッダーにナトリウムが多量に残っていたナトリウム液面より下部は外胴シラウド表面でみる限りきれいにドレンされていた。

ガス層部のペーパーおよびナトリウムのドレンには単に温度を上昇させるのではなくナトリウムによる洗浄や、他の方法を検討する必要がある。

4 洗浄装置および洗浄方法

4.1 洗浄目的と洗浄方法の選択

1 MW SGは運転、試験終了後の内部構造物の変形の検討および材料検査のため、内部のナトリウムを可能な限り除去洗浄する必要があるが、洗浄方法は

- 1) 安全であること
- 2) 短期間で洗浄が行なえること
- 3) 低コストであること
- 4) 材料検査に与える影響が小さいこと。

などが要求される。

大型ナトリウム機器の洗浄方法は表4.1により検討したが、材料検査結果の比較のため50MW SG洗浄と同様のアルゴンガス雰囲気における水蒸気洗浄法を採用した。

表 4.1 ナトリウム洗浄方法とその得失(その1)

項 目	特 紹			適 用 例				備 考
	利 点	欠 点	国 名	洗 清 対 象	寸法、形状	ナトリウム量		
1.物理的方法								
1) 高温油による溶解	1.安全である。 2.廃棄処理装置が不要	1.完全な洗浄ができない。 2.廃油処理が必要						
2) 外部予熱によるナトリウムの溶解	1.多量のナトリウム処理に適している。 2.廃棄物がナトリウムだけである。	1.ナトリウムが発煙する可能性がある。 2.予熱設備が必要 3.完全な洗浄ができない。 4.表面腐食が増大することがある。						
2.化学的方法								
1) アルコール洗浄	1.反応速度がゆるやかである。 2.ほぼ完全な処理ができる。	1.アルコールの引火性に注意を要する。 2.廃アルコール処理が必要 3.作業時間が長い。	米 英 日	Fermi SG 燃料集合体 IHX モデル (大沸)				Ar+エチルアルコール
2) 高温水蒸気洗浄	1.安価である。 2.廃棄物の処理が比較的簡単 3.ほぼ完全な処理ができる。	1.廃煙処理装置が必要 2.水素爆発を時々引き起こす。						
3) 低圧水蒸気	1.安価である。 2.廃棄物処理が簡単	1.洗浄時間が長い 2.アルカリ腐食を受ける可能性がある。	仏 米	Naポンプ Fermi一次ポンプ				アルゴン+STM

(その2)

			Fermi SG # KAPL4 モデル 英 SGモデル # Naポンプ 日 (大洗)	米 7m×0.8mφ # 2m×2m×2m	アルゴン+STM 150°C, Ar+STM 85PSI×2.5L/s Ar+STM 16Kg/HSTM, 39H 多 数
4) アンモニア洗浄	1.安全である。	1.アンモニアの処理が必要			
5) 水洗浄	1.安価である。 2.完全に洗浄できる。	1.最も危険である。 2.洗浄対象物が破損する恐れがある。			
6) CO ₂ 洗浄	1.安全である。	1.洗浄時間が長い。	日 (三義)	Fermi SG	最終処理
7) 水霧ガス洗浄	2.アルカリ腐食を受けにくい。	低圧水蒸気に準ずる。	仏 原子炉一次モデル # 多数 独 燃料要素	1 120 Kg ガス1800L/Hr 3030m ³ /Hr 温度100~110°C 時間1H以下 Max.10% H ₂ STM	水5L/HN ₂ +水 ガス1800L/Hr 3030m ³ /Hr 温度100~110°C 時間1H以下 Max.10% H ₂ STM
8) 真空蒸留	1.安全である。 2.N ₂ が完全に除去できる。	1.大型の装置は困難 2.予熱装置が必要 3.時間がかかる。	独 制御盤駆動軸 # 3.7 psi グリッド型 燃科集合体 英 燃料要素	6.5m×0.2m 10 ⁻² Torr 500 °C 1000 °F 315Hr 20~200 μE 400°C 10 ⁻³ Torr 24Hr	10 ⁻² Torr 500 °C 1000 °F 315Hr 20~200 μE 400°C 10 ⁻³ Torr 24Hr

4.2 洗浄装置

洗浄装置の概略系統図を図4-1に示す。

主な系統構成としては

- 1) 洗浄蒸気系
- 2) 不活性ガス系
- 3) 排気系
- 4) 水素濃度測定系
- 5) その他補助系

から成っている。

尙、大型機器の洗浄において、ナトリウム+蒸気の反応による急激な圧力上昇に対して、安全性の面から放出系を設ける必要がある。しかし、今回の1MWSGの解体作業中の管束観察でナトリウム付着量から、圧力上昇はないとの判断し、放出系を設置しなかった。

又、洗浄装置の設置については、洗浄蒸気系や水素濃度計は、SG本体になるべく近いことが望まれるが、SG室内の設置スペース、作業性の面からの制約はあったが解体工事中一度取り除いた SG室上部架台を再組立てし、その上に設置した。

以下、各系統詳細について説明する。

4.2.1 洗浄蒸気系

洗浄蒸気系は、ナトリウムの処理に直接必要な蒸気を造り、SG本体内に注入する系統で、蒸気発生源であるスチーム・クリーナと流量計及びそれらを接続する配管から成っている。

スチーム・クリーナは、最大蒸気発生量が $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 、圧力 $4 \text{ kg}/\text{cm}^2\text{g}$ のものを利用した。また蒸気流量計は、面積型（ロータ・メータ方式）スケール $0 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ 、使用圧力 $0.2 \text{ kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 、温度 180°C のものを使用した。

スチーム・クリーナで発生した蒸気は、蒸気流量計を通り、ナトリウムリングヘッダ管に入り、そこから4本の分配管に別れて、SG本体内に注入するようにした。

スチーム・クリーナの設置場所については、発生した蒸気が SG内に入る前に冷却されて水にならないように SG本体になるべく近く設置することが必要である。以上の理由から、SG室上部架台にスチーム・クリーナを設置し、配管の短縮化を計った。配管は、1B管を用い、長さは約 9m であり、蒸気配管全てに保温材を施した。

問題点としては蒸気流量計の計測域が $0 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ であり、洗浄初期には充分であったが、洗浄末期には、この蒸気流量計をバイパスしてスチーム・クリーナの最大蒸気発生量の $60 \text{ m}^3/\text{h}$ まで流したので、洗浄の進捗状況の把握困難であった。

2) 不活性ガス系

洗浄にあたっては、既設アルゴンガス系のうち、SGレベル制御用の供給ラインを使用した。当初の計画では、液化アルゴンポンベ(内容量 100Nm^3)3本にて洗浄中のアルゴンガス量をまかなう予定であったが、ポンベ出口の圧力が低い(最高 17kg/cm^2)為、既設の減圧弁、アルゴン貯蔵タンク(容量 3.1m^3)に送る間に減圧され、要求するガス流量が確保出来ず、工事中に使用していた(130kg/cm^2 , 7Nm^3)ポンベを併用することとなった(図4-2を参照)。

アルゴンガス貯蔵タンクを出たアルゴンガスは、既設の減圧弁を経て洗浄系統図で示すアルゴンガス供給ラインに入り、ロータメータ式流量計(最大流量 $30\text{m}^3/\text{H}$)を通り、ナトリウムリングヘッダのナトリウム入口管に蒸気と混入して入るようになっている。

尚、後述の水素濃度計に送る比較ガスもこの不活性ガス系から送るようになっている。

3) 排気系

排気系は、洗浄蒸気、蒸気とナトリウムとの反応生成ガス、水素ガスのバージとして流しているアルゴンガスなどの排気の為の系統で、図4-3に排気系本体の詳細図を示す。排気系の取出しには、SG既設の放出系ノズルを利用し排気系本体と放出系ノズルは、フランジ接続した。

排気系の主な構成は、

SG本体内の圧力が 40mmAq ($\pm 3\text{mmAq}$)になると作動するブリーザ弁、逆火防止の為のフレーム・アレスタおよびブリーザ弁より放出された蒸気がドラム缶内で凝縮した液を受ける為の受け皿が一体となっている。また、同じくブリーザ弁より放出されたガスを一旦ドラム缶で受け、屋外へ導く為のダクトがある。

なお、後述の水素濃度計に送る測定ガスの取出しも、この排気系から1点出ている。

4) 水素濃度測定系

水素濃度測定系は、測定対象物であるSGから測定ガスを取出す為のサンプリング管と測定ガス中の水素濃度を測定する水素濃度計から成っている。

今回の洗浄に用いた水素濃度計は、水素ガスの熱伝導度が他のガスに比べて極めて大きいことを利用して、混合ガス中の水素濃度を検出するもので、測定方式はガスの冷却効果の差から生ずるホイーストンブリッジの電気抵抗の変化を利用したものである。

主な仕様は、

測定レンジ $0 \sim 5\% \text{H}_2$

精度 $0 \sim 2\% \text{H}_2$ 以下の時フルスケールの $\pm 3\%$

$0 \sim 5\% \text{H}_2$ 以上の時フルスケールの $\pm 2\%$

応答速度 90 %応答 20秒(本体のみ)

出 力 DC 0~10 mV

比較ガス及びサンプルガス条件

圧力 0.2~1.0 kg/cm²

温度 0~40°C

流量 400 cc/min

警報設定 0~5 %可変

測定原理は、図4-5及び図4-6に示したように、比較ガスと測定ガスをそれぞれの検出セルに導入し、測定しようとする混合ガスの熱伝導度の差を検出して、水素濃度を検知するものである。それぞれの検出セルは、同じ条件に設定され、加熱された白金エレメントが組まれていて、この2つのエレメントは、ホイーストンブリッジ回路を構成している。

検出原理は、この同一条件に設定されたエレメントに同一流量の比較及び測定ガスを流すと比較ガス(空気、アルゴン)の方は、常に一定にエレメントの熱を奪う。つまり、エレメントの抵抗は一定であるが、水素ガスを含んだ測定ガスの方は、水素ガスの濃度によってエレメントの熱を奪う割合が変化する。

こうして、エレメントの抵抗の変化をホイーストンブリッジの不平衡電圧として取り出し、受信計に導き、水素濃度を指示記録をするものである。

水素濃度計の使用に際しては、零点調整とスパン調整をして計器を校正した後測定する。測定中は規定流量を確保維持することが必要である。

測定ガスの取出しについては、水素は、一番軽いガスであるので測定対象物(SG)に対してなるべく高い位置、もしくは、水素ガスが滞留する位置から取出すことが望まれる。1MWSG本体では、構造上水素ガスが滞留するような場所はないので、前者の位置に着目して取出し点を決めた。

- イ) 排気系本体の一部より 1点
- ロ) 既設小リーク配管ノズルより 1点
- ハ) 誘導式レベル計ノズルより 1点

以上、合計3点より取出した。図4-4に取出し位置を示す。

また、洗浄作業においては、水素濃度検出応答速度がなるべく早いことが望まれるので、水素濃度計本体までのサンプリング管の長さは最小限にすることが必要である。

以上の理由から、水素濃度計をSG室上部架台に設置し取出点から水素濃度計までのサンプリング管の長さを短縮することを計った。サンプリング管の長さは、排気系から取出したもので、約6mであり、その結果、水素濃度検出応答速度は約5分であった。

なお、サンプリング配管は、接続の容易性から、8φの銅チューブを使用した。

5) その他

I) SG 内部温度計測

蒸気洗浄時のSG内部の蒸気ナトリウムの反応状態を水素濃度測定とは別に、温度によっても検知する為、既設熱電対により、SG本体内各部（ガス層、ヘリカルコイル部、下降管部等）の15点について温度記録するようにした。

II) 炭酸ガス系

炭酸ガス注入の目的は洗浄方法の章で記した通りであるが、注入ラインとしては、図4-1に示すように炭酸ガスボンベ（容量25Nm³）から、不活性ガス系の流量計入口に導き、その後の注入は、不活性ガスと同じである。

III) 潮解液ドレン系

潮解液ドレン系は、洗浄後の潮解液をSGより排出するもので、取出し点には、SGドレン管(3B)にフランジ付止め弁を設け、その先は、フレキシブルチューブにしてドラム缶へと潮解液を導くものである。ドラム缶は容量180ℓのものを3缶用意した。

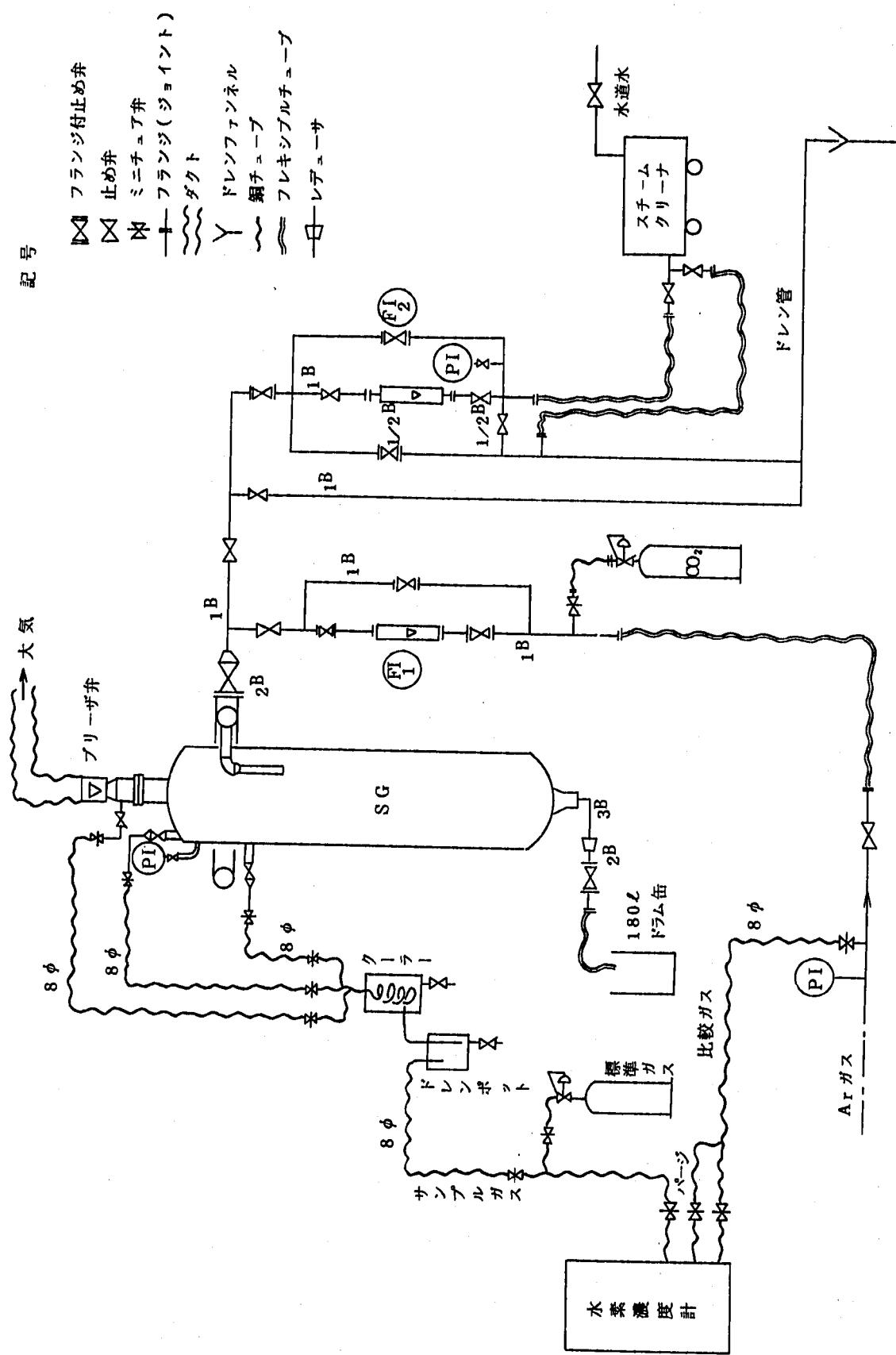


図 4.1 IMW SG 洗浄装置系統図

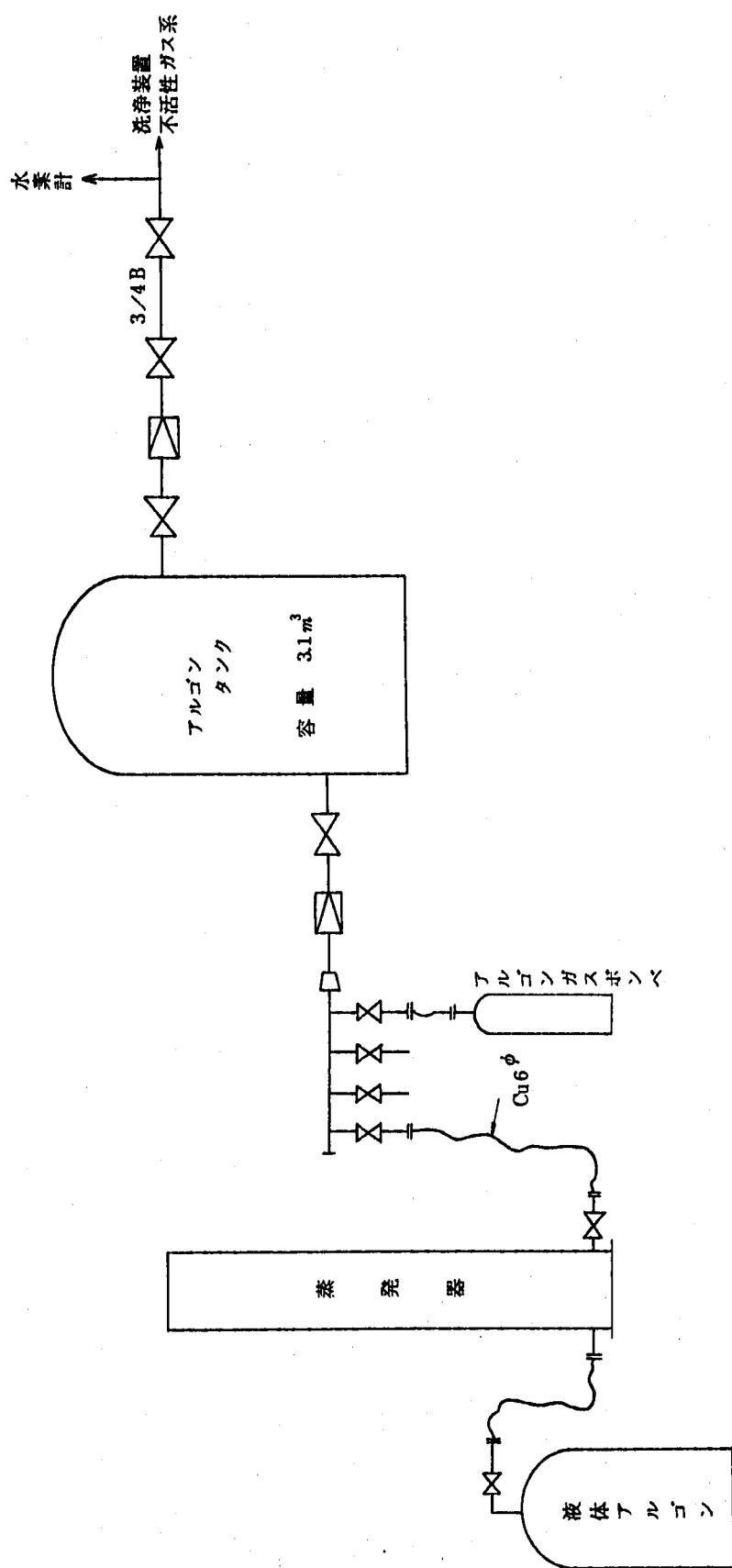


図 4.2 不活性ガス供給系

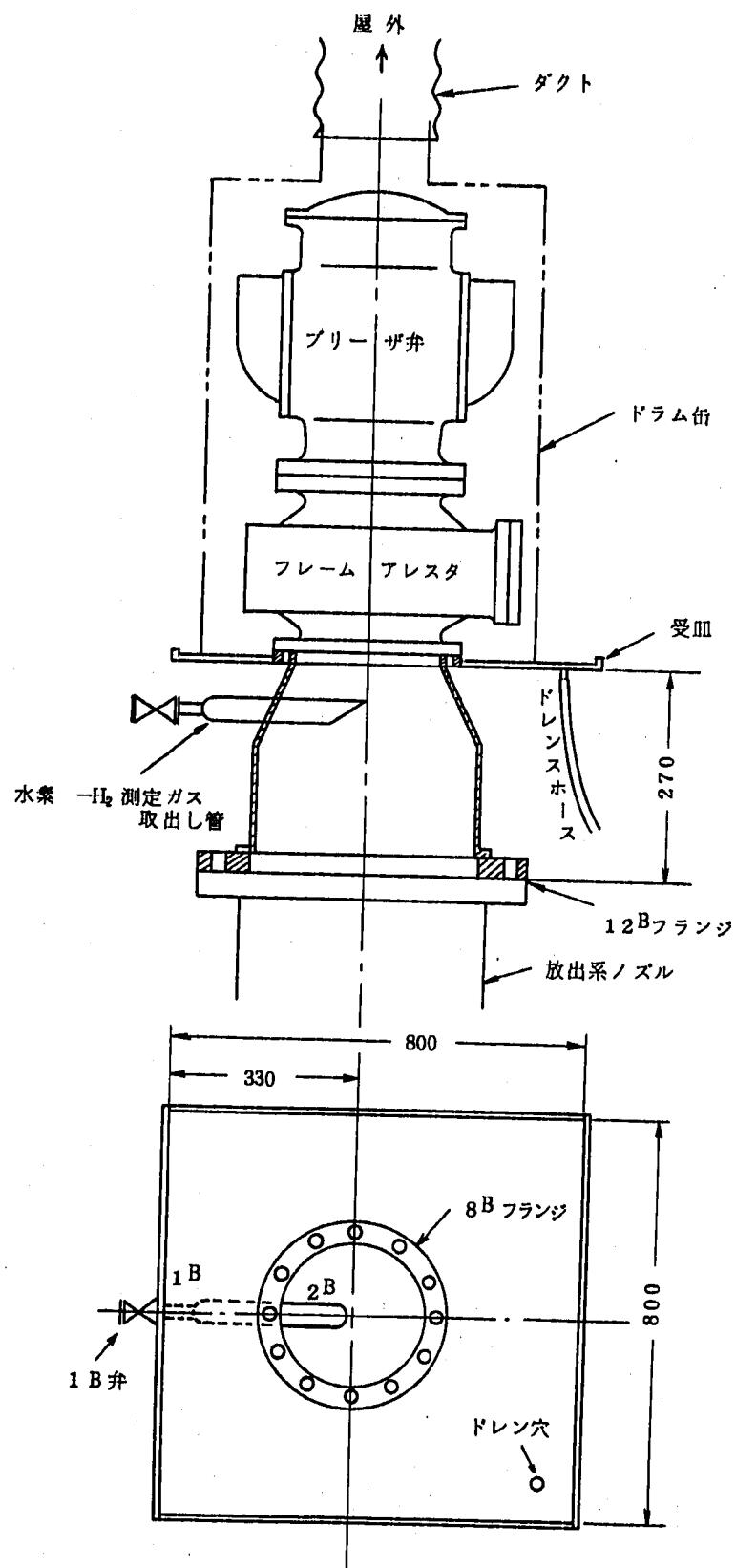


図 4.3 排気系本体詳細図

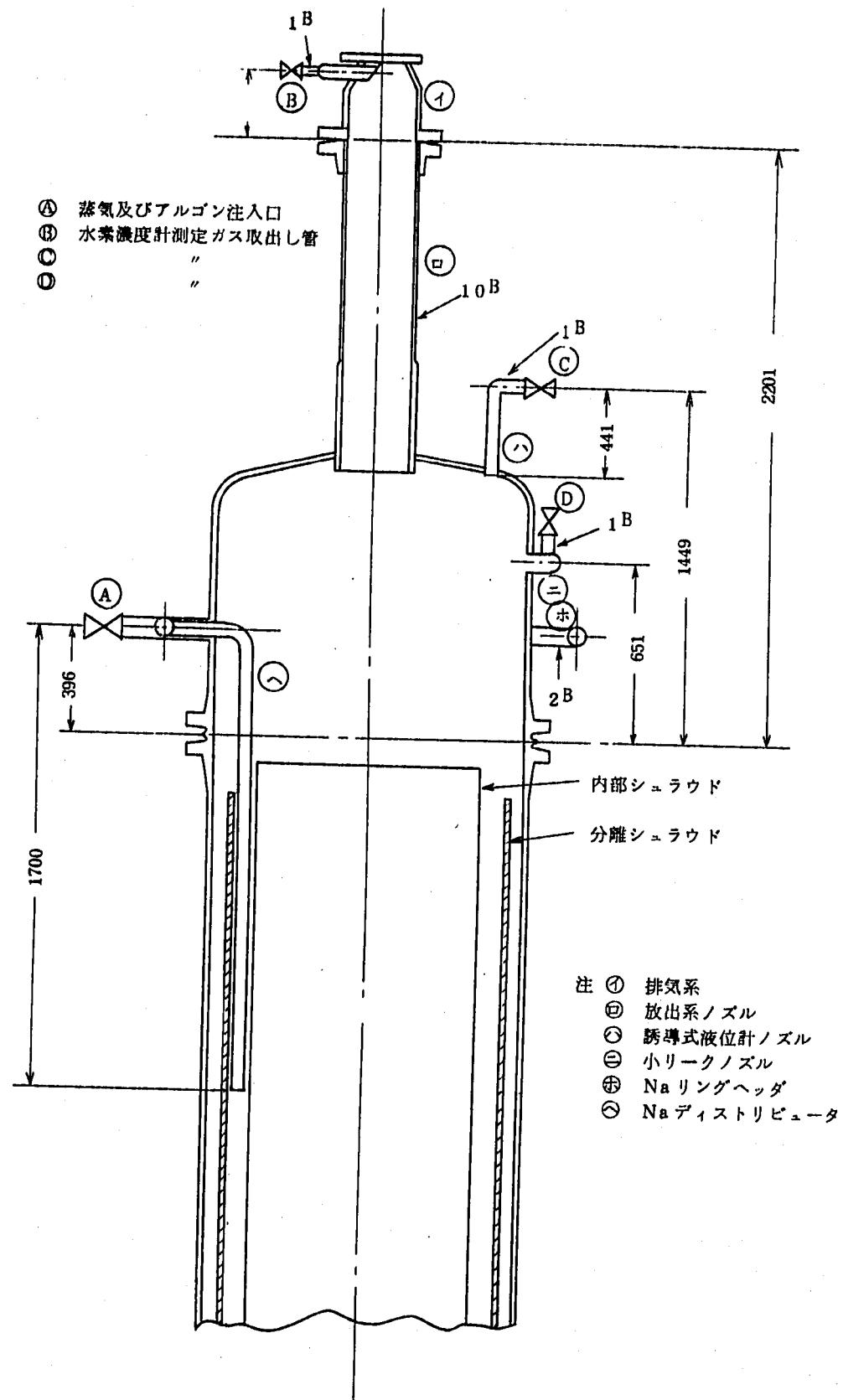


図 4.4 濃度測定ガス取出し位置及び蒸気注入口関係図

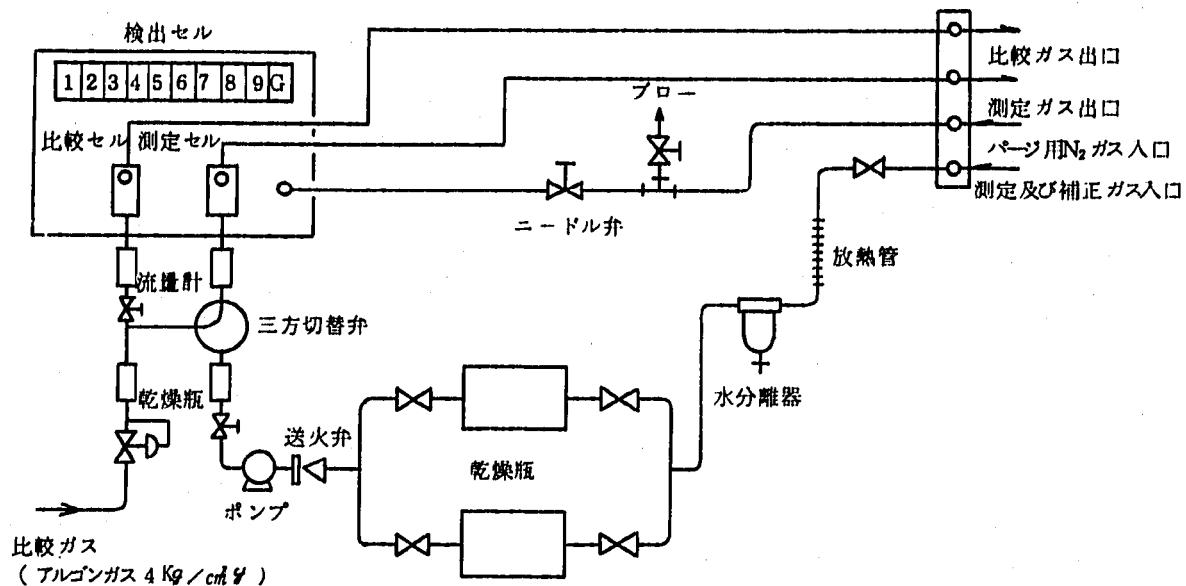


図 4.5 測定原理系統図

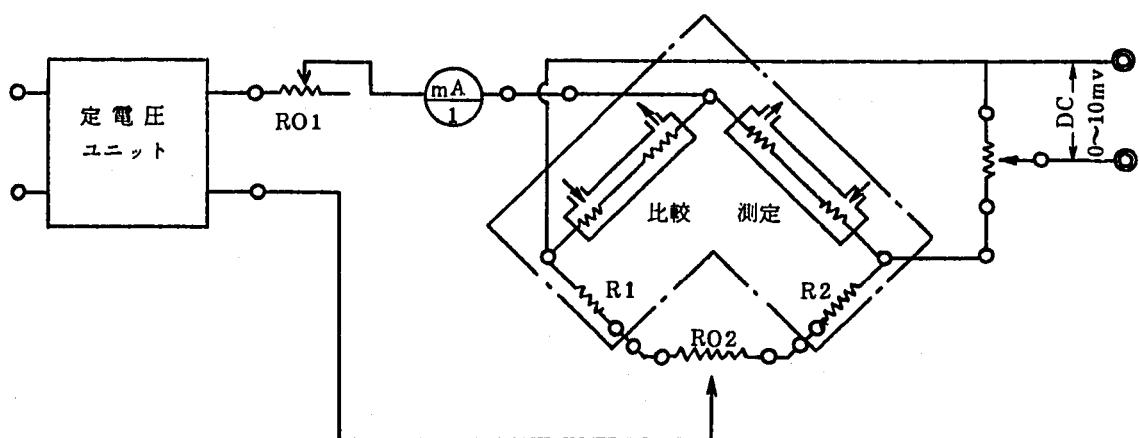


図 4.6 検出原理図

4.3 洗浄方法

1 M W S G 本体のナトリウム洗浄は次の手順により行った。

4.3.1 本体内容のアルゴンガスによる雑ガスバージ

洗浄前の内部観察時に混入した空気や不純物のバージを目的とし、残留水素ガス濃度が零近くになった時点で終了とする。

4.3.2 洗浄蒸気ラインの予熱

本体に充分乾燥した蒸気を送入するため、送入ラインの暖気運転をステームクリーナの水蒸気により充分行う。

4.3.3 アルゴンガスと水蒸気の混合気による洗浄法

ナトリウムの洗浄は安全を第一に行う必要がある。そのため洗浄中水素濃度を2%以下に抑えると同時にSG内部の温度計で反応熱の監視を行なう。

はじめに、アルゴンガスを 20 m^3 程度流しておき、次に水蒸気を少しずつ流す。蒸気流量の設定は、水素計及びSG内部温度計を監視しながら、徐々に増加させ水素濃度が2%を越えた場合、蒸気流量を減らしアルゴン流量を増して水素濃度を2%以下にする。また、水素検出計サンプリングラインを適宜切換えて、ナトリウムの反応状態を監視する。SG内部温度の急激な上昇が見られた場合は、蒸気注入量を減すか又は、アルゴン流量を増して反応をゆるやかにする。時々、潮解液のドレンを行いPH測定をして、洗浄状態を判断する。また潮解液からのナトリウム量の算出及び潮解液の分析のため潮解液500cc位サンプリングする。

このようにしてステームクリーナー発生蒸気の最大流量(60e/H)を流しても、水素濃度が2%以上あがらなければ、アルゴンガス流量を徐々に減していく。アルゴンガス流量を止めて水素濃度があがらず零近くで一定となつた処で洗浄終了とする。

4.3.4 炭酸ガスの注入

アルカリ腐食の影響を少くするためステーム洗浄後ただちに炭酸ガスを注入する。炭酸ガスの注入は、ステーム洗浄によって生じた水酸化ナトリウム(NaOH)や酸化ナトリウム(Na₂O)などを安定な炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)にする為である。

4.4 1 M W S G の構造

1 M W S G の構造についてはすでに多くの報告書で詳しく述べられているが、解体、洗浄の説明上必要と思われる部分の構造について述べる。

4.4.1 SGの主な構成

1 M W S G は図4.7に示すように、直徑約1m長さ9.5mにて置一体貫流型シエルアンドチューブ式で補修、解体を容易にするためフランジ構造となつており、解体の際は内部

構造物（管東部）が上部胴体と一体となって下部胴体より引抜くことができる。配管系ノズルとしては、ナトリウム出口ノズルが下部胴体底部についている以外すべて熱応力を考へて、上部胴体のカバーガス層部に取付けられている。

SG構成材料はシエルのライナとダウンカマの熱遮蔽管がステンレス鋼(SUS304)それ以外は、 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼で作られている。

4.4.2 ダウンカマの熱遮蔽構造

第一次SGの運転において、ダウンカマ部の収熱が大きいという問題点があつたので、今回の第2次SGでは、ダウンカマに熱遮蔽管を取付けた。

下降管の熱遮蔽管は、図4.8に示す様に、長さ約7,300mm、外径42.7φでその上部は、A部詳細図に示す様なフリュードヘッドにより、伝熱管に付けられており、下部はスカートになっている。

熱遮蔽管には、熱電対が縦方向に4本、スペーサが2ヶそれぞれ取付けられている。熱電対はB部詳細図に示す様に、スリーブによって熱遮蔽管を貫通する様に取付けられている。

スペーサは、C部詳細図に示されるように、径9φのネジ3本のボルトによって、熱遮蔽管に固定されている。伝熱管とスペーサ間のスライド部のギャップは、0.5mmでさらにナトリウムドレンを容易にするため2.5mm長さ10mm位の切欠が設けられている。

4.4.3 カバーガス部

図4.9のA部は、SG上部に取付けられている放出管部で、通常運転時この部分はナトリウム温度に比べてかなり低い。

4.4.4 伝熱管サポート金具

図4.10は、伝熱管コイル部の一部断面を示したものである。伝熱管(外径25.4φ)コイルは、内部シュラウドにピッチ40mm、コイル径80.5φ、巻き上げ角度9°で巻き上げられたものが図にみられるようにサポート金具で内部シュラウドに取付けられている。サポート方式は、厚さ5mm巾、25mmの伝熱管押さえ金具により伝熱管を押さえ付けるように8φのネジで締付けられている。またピッチ間隔を一定に保つようスペーサがやはりネジ止め方式で取付けられている。

4.4.5 液位計挿入部

アニュラス部には、液位計を挿入するスペースがないため内部シュラウド上部に液位計挿入部が設けられている。

内部シュラウド上部は、図4.11で示されるようにアニュラス部と液位を同じにするため、ナトリウム流入口(18mm×23mm)が4カ所設けられており、液位計は内部シュラウド上部平板の液位計挿入孔より、接点式液位計5本、誘導式液位計1本がそれぞれの挿

入孔より挿入されている。

内部シュラウドには、ナトリウム-水反応事故時（特にコイル下端部のリークの際）の反応生成物の放出路として2本の貫通パイプが設けられている。そのうち1本には、ナトリウム停滞部のナトリウム液位を測定するために誘導式液位計が挿入されている。そしてナトリウム停滞部とアニュラス部の液位の差によって、コイル部の圧力損失が測定できる。

液位計挿入部は、ドレンされにくい構造であるが、内部シュラウド上部平板の挿入孔より蒸気の流入が期待できる。

4.4.6 シエルとライナー部

シエル内部にはナトリウム-水反応時の熱衝撃を吸収するために厚さ3mmのステンレス鋼（SUS304）ライナが設けられている。

4.4.7 フランジ部

SG本体のフランジ部のシール構造は図4.1.2に示す様にOリングが入れられており、その上リップシール溶接が施されている。

フランジ部近傍はSG全体の中でも最も温度の昇降の著しいところでその繰返し熱応力によりボルトの弛み等も考えられた。

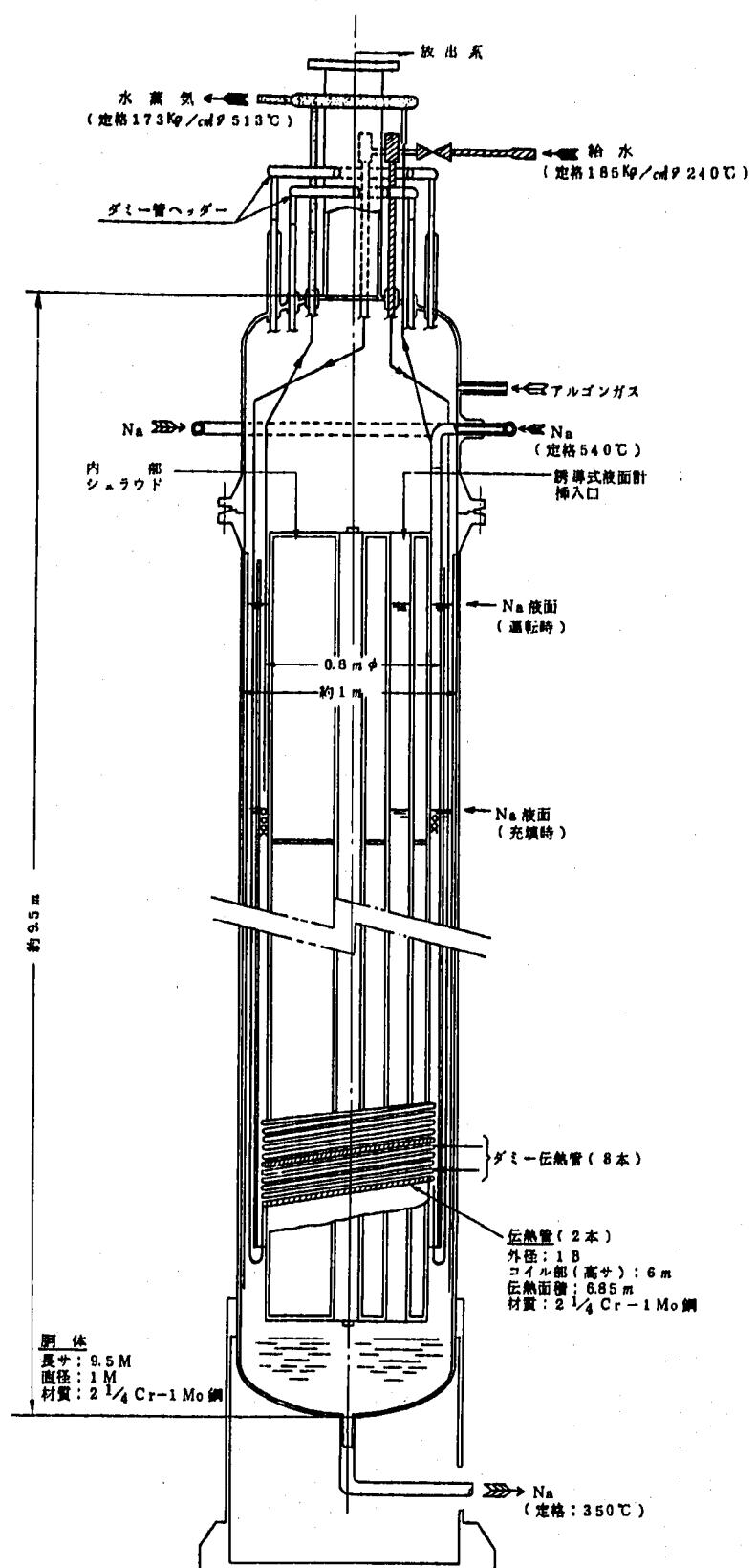
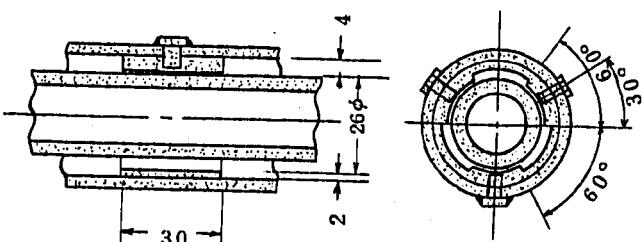
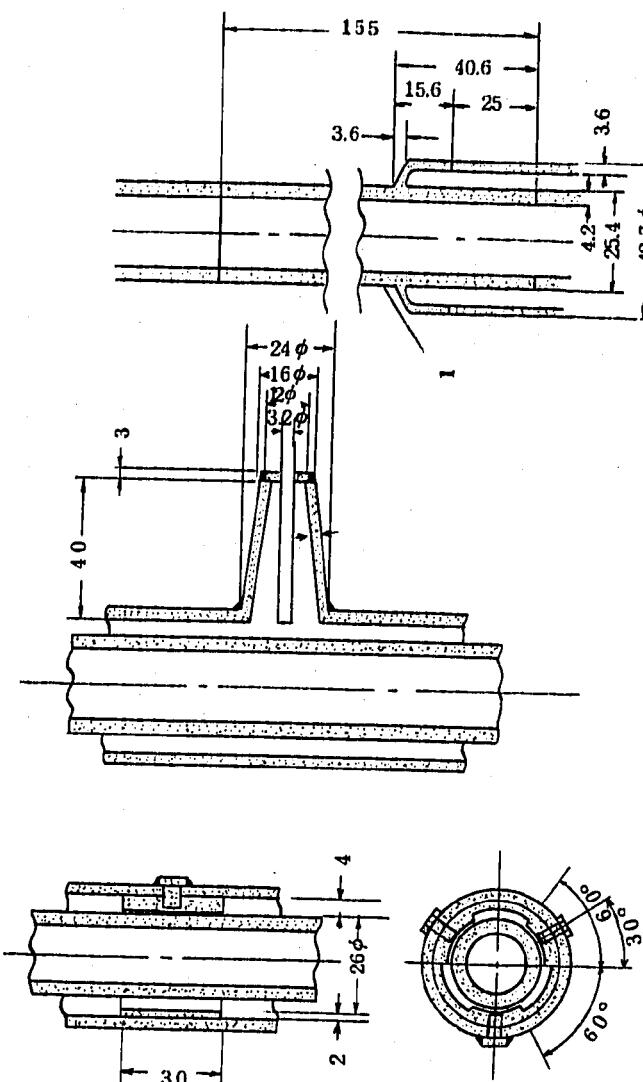
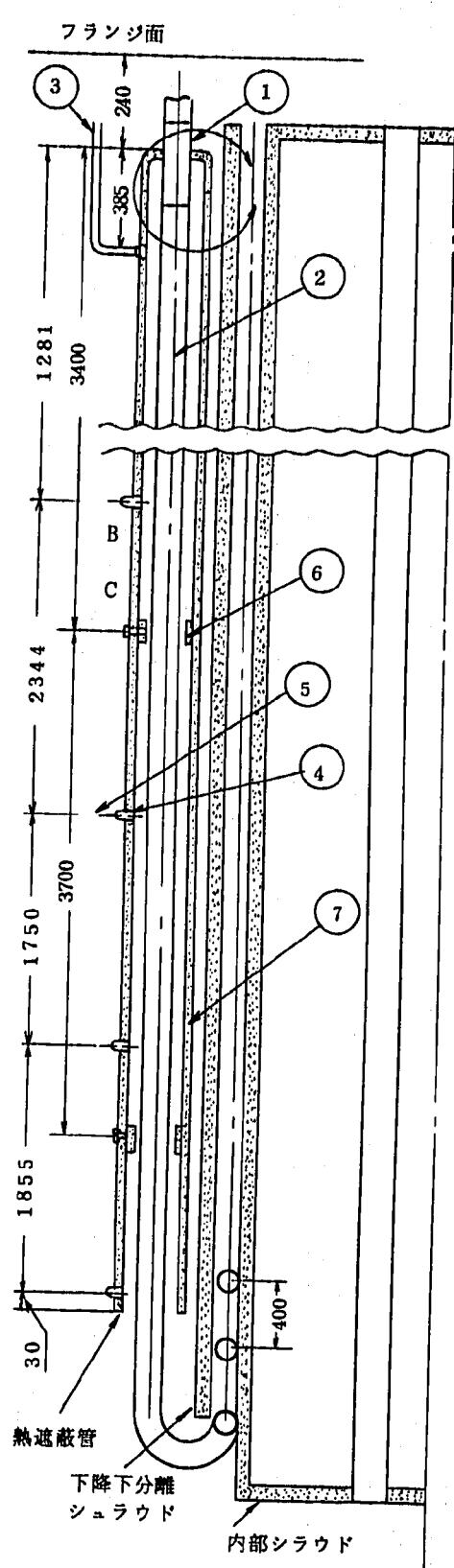


図 4.7 1 MW 蒸気発生器本体図 (STEAM GENERATOR)



A部詳細図(1/2)
B部詳細図(1/2)
C部詳細図(1/2)

番	名 称	材 質
1	フリュード・ヘッド	SFA 24
2	伝 热 管	STBA 24
3	カバーガス供給管	SUS 27 HTP
4	熱電対用スリーブ	SUS 304 B
5	熱電対シーズ	AISI 316
6	スペーサー	SUS 304 B
7	熱 遮 蔽 管	SUS 27 HTP

図 4.8 热遮蔽管の構造

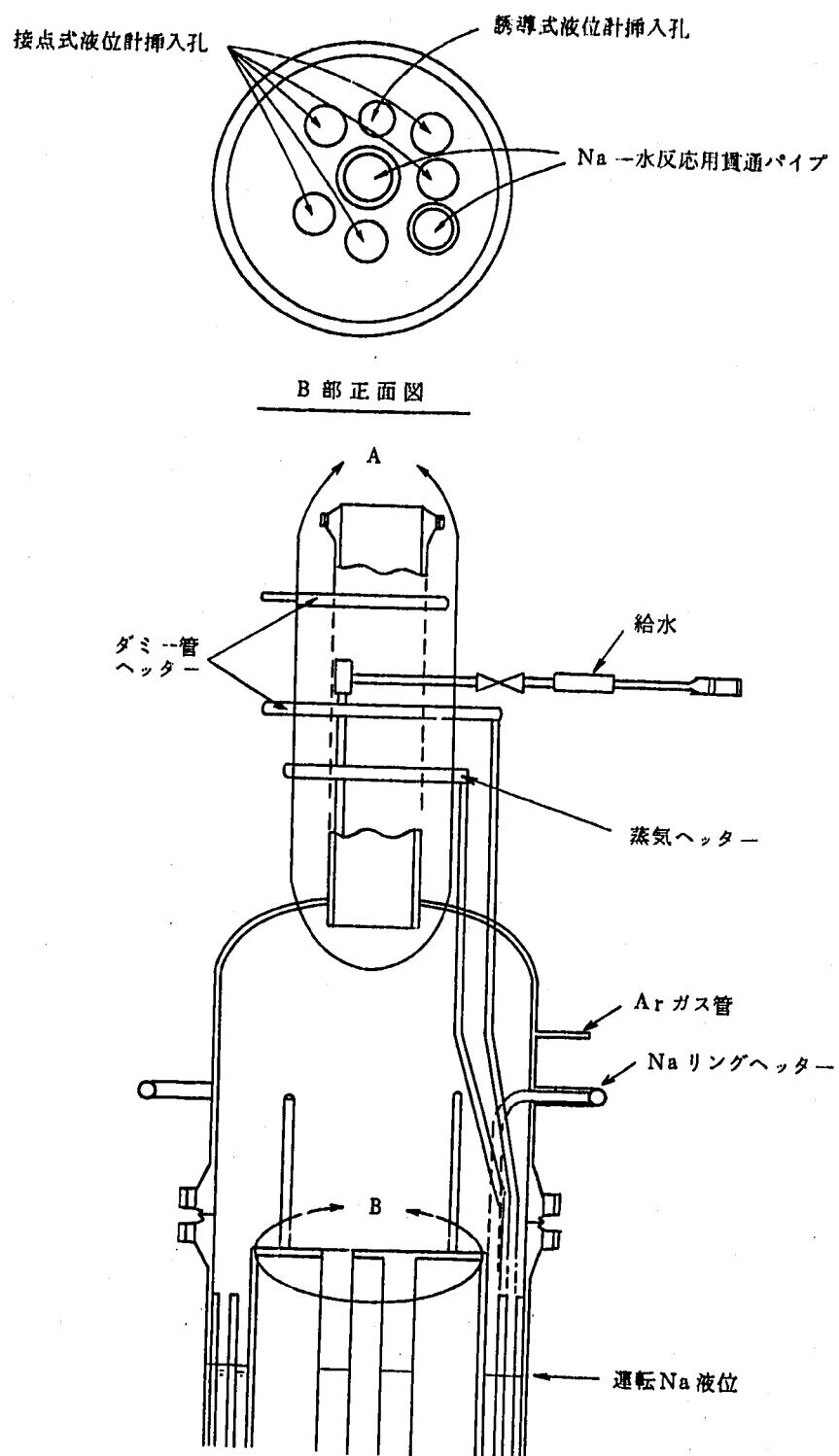


図 4.9 SG 上部 図

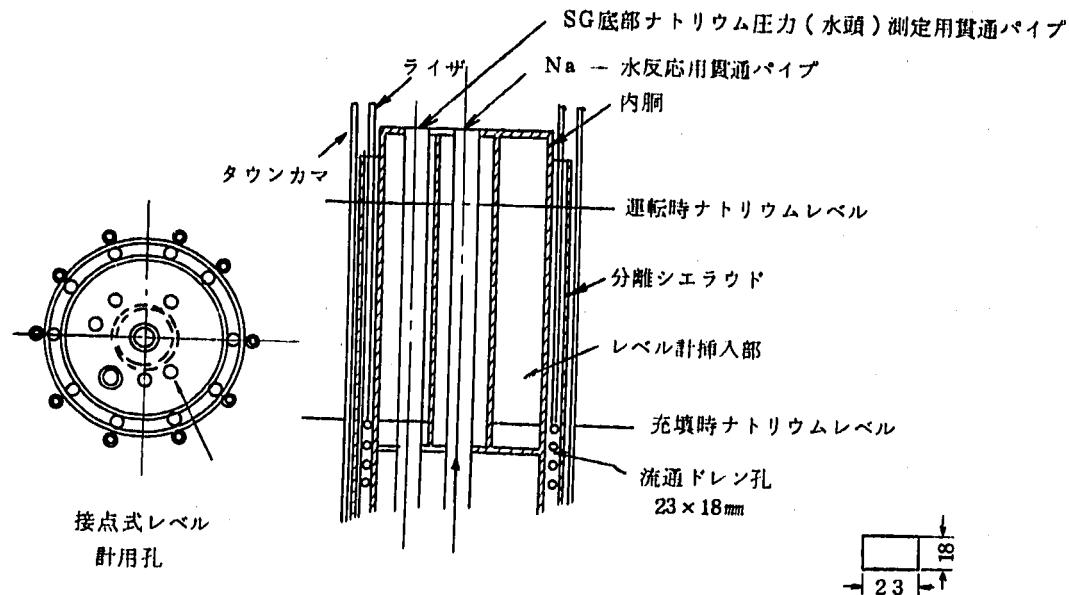


図4 内部 シュラウド 上部 詳細

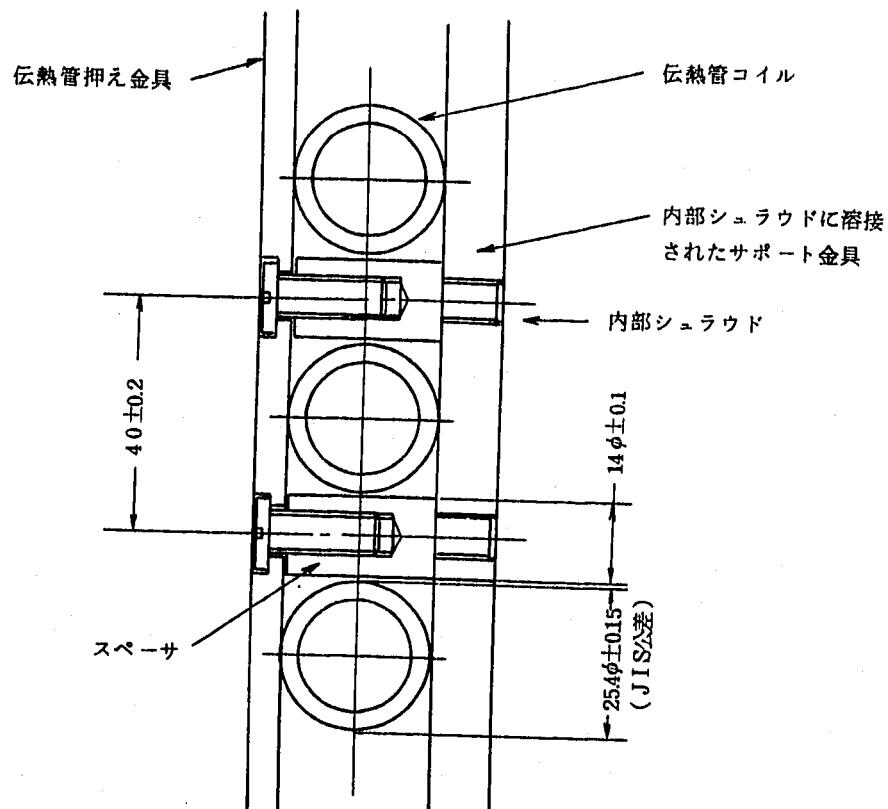


図4.10 伝熱管サポート部 詳細

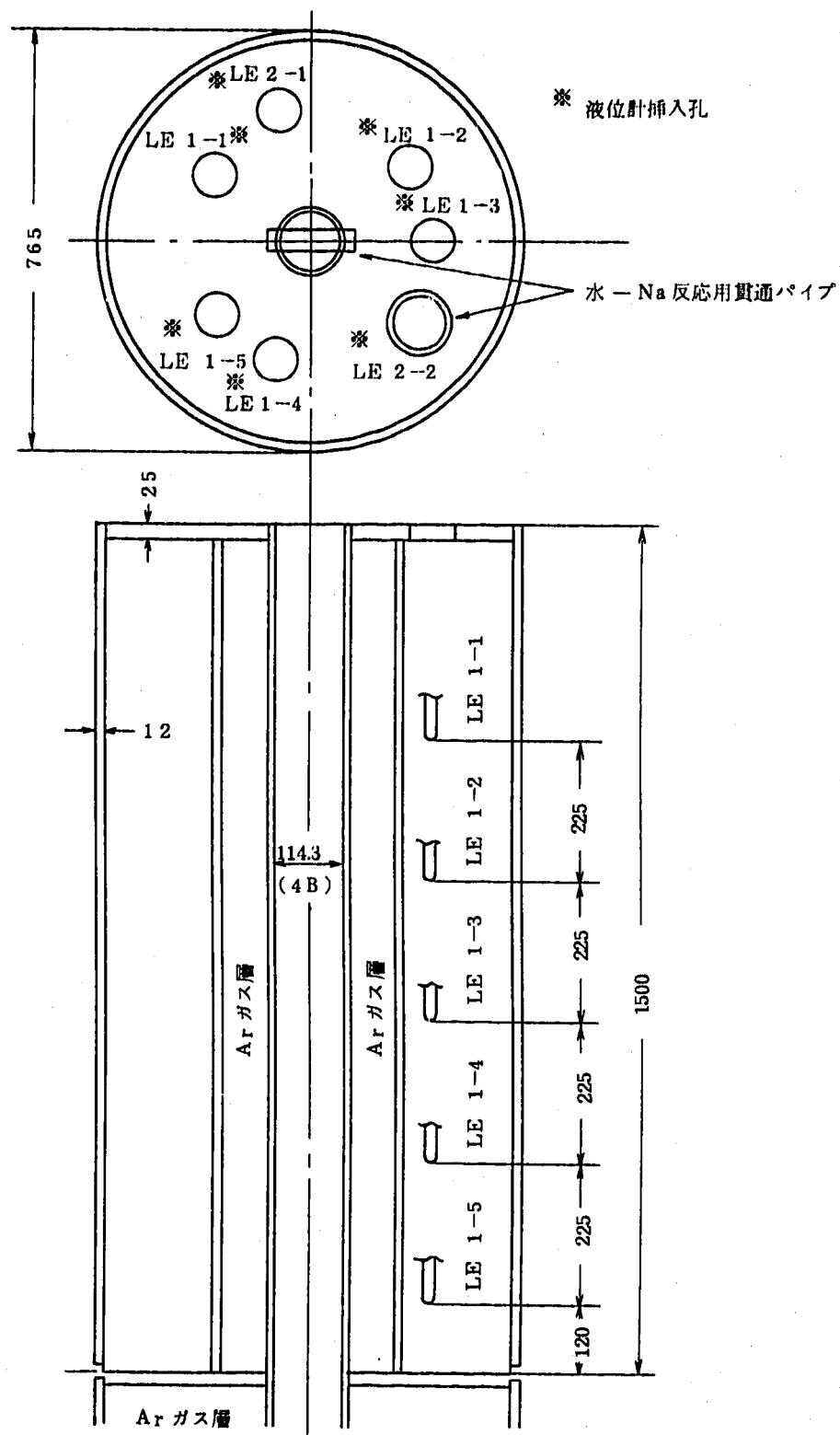
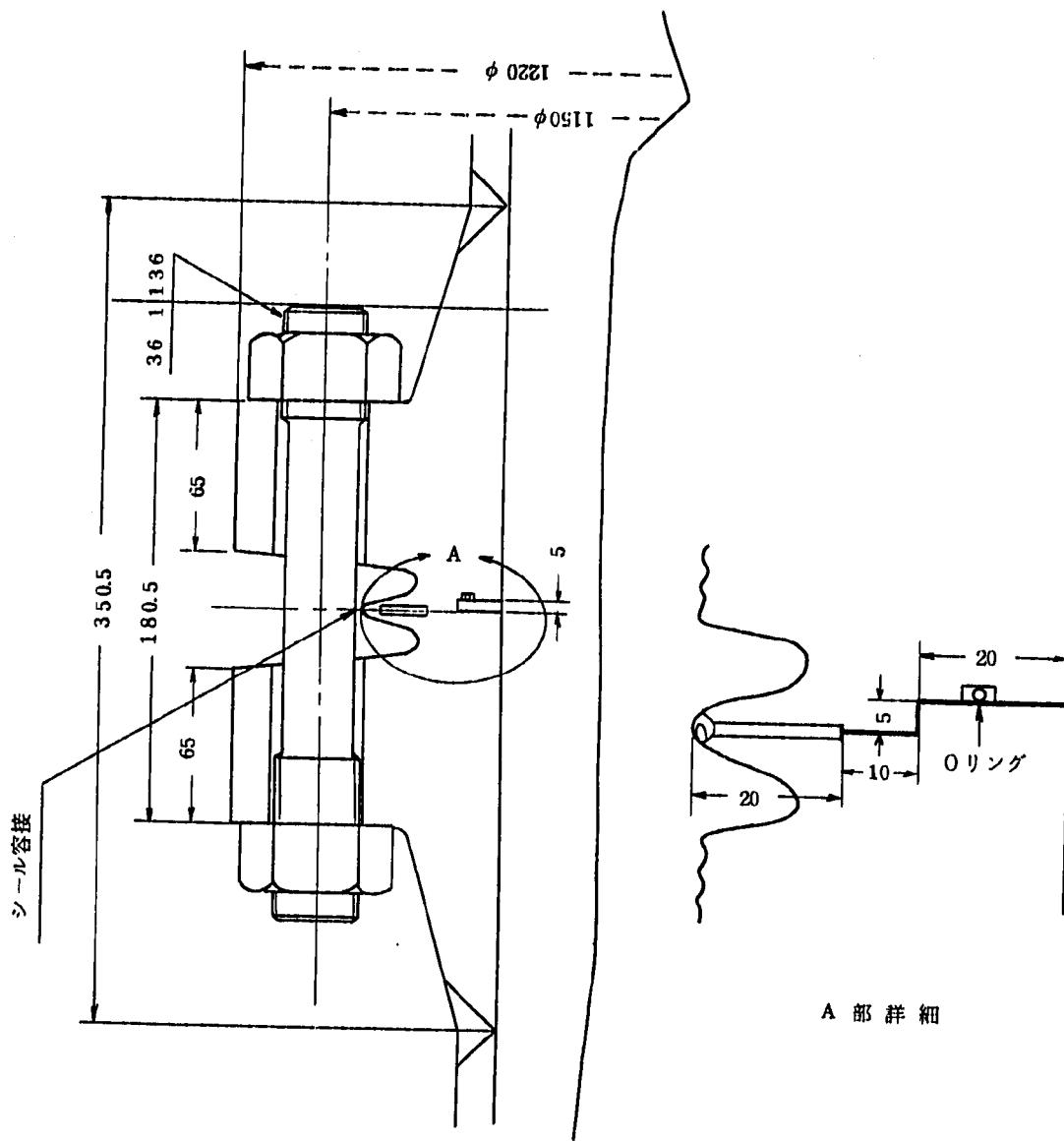


図 4.11 内部 シュラウド 上部



A 部 詳 細

図 4.12 フ ラ ン ジ 構 造

5 洗浄作業

5.1 洗浄作業

洗浄作業は、1975年の7月26日～29日に行つた。解体工事途中、管束観察その他検査の為、管束の仮吊上げをし、ナトリウム付着状況を事前に観察した。観察範囲は、分離シユラウドより外側に限られ、ヘリカルコイル部は観察出来なかつた。観察した限りでは、分離シユラウド及び下降管には、全体的にうつすらとナトリウムが付着していたがオーバーチャージの形跡はなかつた。

しかし、ナトリウムリングヘッダにはリングヘッダ管(2B)の管断面の下から約12mm程度のナトリウムがドレンされないで溜っていることを確認した。洗浄にあたつては、先ずこのナトリウムに重点を置いた。

5.1.1 洗浄準備

第3章で述べたように、SG出入口のナトリウム及び蒸気配管、カバーガス配管等を切断して、SGをナトリウム系や水蒸気系から隔離した後の7月22～25日に4.2に記した様な洗浄装置の設置および洗浄用配管等の工事を行つた。

水蒸気洗浄前の確認事項としては、

- 1) 不活性ガスであるアルゴンの供給が確保されていること。
- ロ) スチーム、クリーナの連続運転可能な燃料が確保されていること。
- ハ) 水素濃度計が正常に作動していること。
- 二) SG内部温度指示計が作動していること。
- ホ) SG内がアルゴンガスにて置換してあること。
- ヘ) その他、洗浄に必要な機器が正常に作動していること。

以上を確認後洗浄作業を開始した。

なお、水素濃度計については、洗浄作用の前日に標準ガスにより較正したが、SG内バックグラウンドが0.5%より下がらず、アルゴン流量 $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 流してバージを行なつたがそれでも下がらないので水素濃度0.5%より洗浄作業に入った。

5.1.2 SG洗浄作業経過

SGの蒸気洗浄は7月26日～27日にかけて行なつた。

以下、洗浄経過について記す。

昭和50年7月26日

10時12分 スチーム・クリーナーウォーミング開始

1.5 スチーム・クリーナー点火

洗浄蒸気配管のウォーミング開始

10時41分	SG内蒸気注入開始	蒸気流量	1 m ³ /h
		蒸気圧力	0.8 Kg/cm ² g
		アルゴン流量	1.5 m ³ /h
		水素濃度	0.54%
(水素検出は排気系より行う)			
50	蒸気量増加	蒸気流量	1 → 1.5 m ³ /h
		アルゴン流量	1.35 m ³ /h
		水素濃度	0.62%
11時05分	水素濃度に変化なし 蒸気量増加	蒸気流量	1.5 → 2 m ³ /h
		アルゴン流量	1.70 m ³ /h
		水素濃度	0.62%
13	水素濃度急上昇の為 蒸気注入停止	水素濃度	1.7%
		アルゴン流量	2.0 m ³ /h
25	蒸気注入開始	蒸気流量	2 m ³ /h
		蒸気圧力	0.8 Kg/cm ² g
		アルゴン流量	1.8 m ³ /h
		水素濃度	0.81%
30	蒸気注入停止	水素濃度	2.9%
40	蒸気注入開始	蒸気流量	1 m ³ /h
		蒸気圧力	0.8 Kg/cm ² g
		アルゴン流量	1.4 m ³ /h
		水素濃度	0.87%
12時29分	蒸気注入停止 水素濃度5%以上振り切れ	アルゴン流量	1.6 → 2.4 m ³ /h
30	アルゴン流量を増加して水素ガスバージを行う		
33	水素濃度下降し始める。		
36	アルゴン流量 2.4 → 1.5 m ³ /h 減少		
40	蒸気注入開始	蒸気流量	4 m ³ /h
		蒸気圧力	0.75 Kg/cm ² g
		アルゴン流量	1.6 m ³ /h

12時40分		水素濃度	1.29%
44	水素濃度急上昇した為 蒸気量減少	蒸気流量	4 → 2 m³/h
45	蒸気量を減少しても水素濃度は上昇しているので蒸気注入停止	水素濃度	3.7%
55	蒸気注入開始	蒸気流量	2.5 m³/h
		蒸気圧力	0.75 kg/cm²g
		アルゴン流量	1.6 m³/h
		水素濃度	1.55%
1304	水素濃度急上昇の為 蒸気注入停止	水素濃度	2.2%
12	蒸気注入開始	蒸気流量	1.0 m³/h
		蒸気圧力	0.75 kg/cm²g
		アルゴン流量	1.55 m³/h
		水素濃度	1.5%
25	水素濃度下降状態なので 蒸気量増加	蒸気流量	1 → 2 m³/h
	アルゴン流量減少	アルゴン流量	1.5 → 1.0 m³/h
		水素濃度	1.18%
30	水素濃度急上昇した為 アルゴン流量増加	アルゴン流量	1.0 → 1.5 m³/h
1407	蒸気量増加		2.0 → 3.0 m³/h
15	"		3.0 → 4.0 m³/h
19	水素濃度上昇	水素濃度	1.55 → 3.3%
	蒸気量減少		4.0 → 3.0 m³/h
21	蒸気量増加		3.0 → 4.0 m³/h
			水素濃度瞬間に3.55%まで上昇したが直に2.1%まで下降する。
15:00	蒸気量増加		4.0 → 6.0 m³/h
23	水素濃度上昇		2.5 → 3.45%
	蒸気量減少		6.0 → 2.0 m³/h
24	蒸気量増加		2.0 → 4.0 m³/h
25	"		4.0 → 6.0 m³/h
			水素濃度2.0 ~ 3.0%内で安定

15 : 35	蒸気量増加	$6.0 \rightarrow 8.0 \text{ m}^3/\text{h}$
	蒸気圧力	$0.75 \text{ kg/cm}^2\text{g}$
	アルゴン流量	$1.5 \text{ m}^3/\text{h}$
16 : 00	排気系ダクトより凝縮した蒸気が落ち始める。	
25	蒸気量増加	$8.0 \rightarrow 10.0 \text{ m}^3/\text{h}$
	水素濃度 2.5 %以内で安定	
50	第1回目排液採取	
	ドレン量	5 ℥
	pH	12.8
17 : 30	水素濃度 2.18 %にて安定	
	蒸気量増加 スチーム・クリーナバイパス弁全閉	
	蒸気流量	$1.0 \rightarrow 6.0 \text{ m}^3/\text{h}$
35	水素濃度急上昇	$2.18 \rightarrow 4.9 \%$
	蒸気量減少 スチーム・クリーナバイパス弁全開	
	蒸気流量	$6.0 \rightarrow 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$
18 : 20	蒸気量増加 蒸気流量計バイパス弁全開(蒸気量測定できず)	
	水素濃度徐々に上昇 最高 3.1 %まで上がり 1.7 %まで下降する。	
19 : 00	蒸気量増加 蒸気ドレン弁全閉	
05	水素濃度 わずか上昇	$1.7 \rightarrow 2.08 \%$
10	第2回目排液採取	ドレン量 20 ℥
15	蒸気量増加 スチーム・クリーナバイパス弁全閉	(蒸気流量 $6.0 \text{ m}^3/\text{h}$)
30	水素濃度	$2.08 \rightarrow 1.18 \%$ 下降
	アルゴン流量減少	$1.5 \rightarrow 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$
35	水素濃度 最高 2.04 %まで上昇したが徐々に下降	
20 : 12	アルゴン流量減少	$1.0 \rightarrow 7 \text{ m}^3/\text{h}$
	水素濃度 1.5 %以内で上昇する様子なし	
15	第3回目排液採取	ドレン量 37.5 ℥
	pH	13.3
	排気系ダクトより凝縮した蒸気が盛んに落下している。かなり多量の蒸気が排気系より放出していると思われる。	
47	水素濃度 急上昇	
50	アルゴン流量	$7 \rightarrow 10 \text{ m}^3/\text{h}$ 増加

20時50分 水素濃度2.9%まで上昇
 21:20 水素濃度2.5%より徐々に上昇
 22:05 アルゴン流量 $1.0 \rightarrow 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 増加
 水素濃度5%振り切れ
 18 アルゴン流量 $1.5 \rightarrow 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 減少
 水素濃度 5%振り切れ→3%
 30 蒸気注入停止 水素濃度 3%
 アルゴン流量 $1.0 \text{ m}^3/\text{h}$
 35 第4回目排液採取 ドレン量 30ℓ
 pH 12.9
 蒸気注入停止後急に水素濃度が上がり始める。アルゴン流量を増加して水素ガスのバージを繰返した。
 23:55 水素濃度が4.4%まで下がり安定した時点でアルゴン流量 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ で保持

昭和50年7月27日

8時30分 水素濃度5%以上振り切れているのに気付き、アルゴン流量 $5 \rightarrow 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 増加して水素ガスバージを開始
 9:40 標準ガス (H_2 4.26%)にて水素濃度計の指示チェックを行い、指示は正しいことを確認。水素濃度は、依然5%以上振り切れたまま測定ガスの取出し点変更
 排気系→液位計ノズル部
 水素濃度 1.12%
 10:05 同じく取出し点を
 液位計ノズル部→小リーコノズル部
 水素濃度 1.08%
 15 10°C に排気系からの取出し配管に水溜りがあるのを見出し、水抜きを済ませ、測定ガスの取出しを排気系に戻す
 水素濃度 0.95%で安定
 20 第1回目排液採取 ドレン量 3.75ℓ
 21 スチーム・クリーナウォーミング開始
 24 スチーム・クリーナ点火
 洗浄蒸気配管のウォーミング開始
 40 SG内蒸気注入開始 蒸気ドレン弁半開

10時40分	(蒸気流量 蒸気圧力 アルゴン流量 水素濃度)	測定出来ず $2 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ $15 \text{ m}^3/\text{h}$ 0.95%
45 蒸気量全量注入開始	蒸気ドレン弁全閉 蒸気流量	$60 \text{ m}^3/\text{h}$
50 水素濃度 0.95%で一定している為 アルゴン流量 $1.5 \rightarrow 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 減少 水素濃度 最高 1.08%まで上昇したがそれ以上上がりず1%近で安定している。		
12:20 水素濃度の指示 急に下がる 測定ガスの流量不足発見		$1.07 \rightarrow 0.8\%$
45 測定ガスの取出し点変更したが規定流量は確保出来ず 配管の塞り箇所を調査開始		
13:00 第2回目排液採取	ドレン量 pH	53.75ℓ 12.2
14:45 第3回目排液採取	ドレン量 pH	16.25ℓ 13.3
47 水素濃度計本体内ポンプ出入口で測定ガス流量不足があることを発見		
50 水素濃度計 比較及び測定ガス流量を 300 cc/min にセットして測定開始		
15:15 アルゴン流量	10 → 5 m^3/h	減少
	水素濃度	0.9%
30 アルゴン流量	5 → 2.0 m^3/h	増加
	水素濃度	1.03%
35 アルゴン流量	2.0 → 5 m^3/h	減少
	水素濃度	0.86%
16:00 蒸気注入停止(蒸気洗浄後終了)		水素濃度 1%近くで安定している為
10 第4回目排液採取		

16時10分 ドレン量 17.5 ℥
 pH 12.6
 SG内炭酸ガス注入開始 炭酸ガス流量 25 ℥/min
 炭酸ガス圧力 2 Kg/cm²

昭和50年7月28日

15時00分 炭酸ガス注入量 25 → 10 ℥/min 減少

昭和50年7月29日

16時00分 炭酸ガス注入停止 (約48時間放置)
 SG洗浄作業終了

5.1.3 検定及び観察

SGの洗浄にあたって次の項目について特に検定及び観察を行った。

- (1) SG内水素濃度
 - (2) SGよりドレンした潮解液(洗浄後の排液)
 - (3) SG内部温度
- (1) SG内水素濃度
- 図5.3に水素濃度記録を示す。
- 洗浄にあたっては一応2%以内を目指して作業を進めたが作業の進捗性や能率面から爆発下限以下の3%とした。なお、水素濃度測定ガスの取出しはガスの流れが一番多い所であり3点の取出し点中、一番高い位置であるので殆んど排気系から行った。
- 初期蒸気注入時($10^{\circ}41'$ ~ $13^{\circ}04'$)は、蒸気流量最高 $4\text{ m}^3/\text{h}$ 以上、上昇させることができず、蒸気の注入と停止を繰返しながら作業を進めた。その間、蒸気流量 $1\text{ m}^3/\text{h}$ アルゴン流量 $14\text{ m}^3/\text{h}$ で洗浄中 $12^{\circ}29'$ に水素濃度が5%以上に振り切れたのでアルゴン流量を $16\text{ m}^3/\text{h}$ から $24\text{ m}^3/\text{h}$ まで増加してナトリウム+蒸気の反応減衰と水素ガスのバージを行い、 $12^{\circ}33'$ に水素濃度が降下し始めた。

その後、 $13^{\circ}12'$ に蒸気再注入(流量 $1\text{ m}^3/\text{h}$)してからは、ほぼ、順調に蒸気流量計の最高指示値である $10\text{ m}^3/\text{h}$ まで上昇させることができた。 $(16^{\circ}25')$ 蒸気流量 $10\text{ m}^3/\text{h}$ で約1時間注入してから $17^{\circ}30'$ にスチーム・クリーナのバイパス弁を全閉にしてスチームクリーナの最大蒸気発生量の $60\text{ m}^3/\text{h}$ 流入したところ水素濃度の指示が急上昇したので、再びバイパス弁を全開にして $10\text{ m}^3/\text{h}$ に戻し、その後は徐々に流量を増加していき、 $19^{\circ}15'$ には、 $60\text{ m}^3/\text{h}$ 全量流した。その後は水素濃度の昇降に応じてアルゴン流量のみ増減させて、 $22^{\circ}30'$ に蒸気注入を停止した。蒸気注入停止後、水素濃度が徐々に上昇し、5%以上に振り切れてしまった、アルゴン流量を調整

して、SG内のアルゴンバージを繰返したが水素濃度は下がらず、7月26日はアルゴン流量を $5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ にて流し放しとして作業を終了した。7月27日の作業は、前日5%以上に振り切れたままの水素ガスのバージから開始した。アルゴン流量を $5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ から $10 \text{ Nm}^3/\text{h}$ まで増すと約1時間30分後に水素濃度が下がり始め、1%付近まで下降した。

水素濃度0.96%の状態で $10^{\circ}40'$ に蒸気注入を開始し $10^{\circ}45'$ には全量 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 注入を開始した。蒸気注入後も水素濃度に殆んど変化はなく1%近くで安定していた。

しかし、 $12^{\circ}20'$ 頃、測定ガスの流量が規定値以下になつた。約2時間30分の調査時間中水素濃度計は測定不能となつたが $14^{\circ}45'$ に比較ガスと測定ガスの流量を 300 cc/min にセットして再び測定を開始した。水素濃度は依然として0.8~0.9%で安定しているのでアルゴン流量を減らす方向にもつていても水素濃度はわずかに上昇したのみで、その後は1%付近で上下する気配もなくこの時点で洗浄終了と判断し $16^{\circ}00'$ に蒸気注入を停止し、続いて $16^{\circ}10'$ より炭酸ガスを 25 l/min の流量で流入開始した。この流量で7月28日の $15^{\circ}00'$ まで引き続き、 $25 \text{ l/min} \rightarrow 10 \text{ l/min}$ にて7月29日の $16^{\circ}00'$ まで放置、約48時間炭酸ガス放置をした。

(2) SGよりドレンした潮解液

洗浄後の排液は、洗浄状態や洗浄終了時点を判別するのに有効である。

測定及び観察は下記について行った。

1) 潮解液のpH

□) 潮解液の色、状態

△) 潮解液量

以下、洗浄経過を記す。

7/26	$16^{\circ}50'$	第1回目ドレン	潮解液量	5 l
	$19^{\circ}10'$	第2回目ドレン	"	20 l
	$20^{\circ}15'$	第3回目ドレン	"	37.5 l pH = 13.3
	$22^{\circ}35'$	第4回目ドレン	"	30 l pH = 12.9
7/27	$10^{\circ}20'$	第1回目ドレン	"	3.75 l
	$13^{\circ}00'$	第2回目ドレン	"	53.75 l pH = 12.2
	$14^{\circ}45'$	第3回目ドレン	"	16.25 l pH = 13.3
	$16^{\circ}10'$	第4回目ドレン	"	17.5 l pH = 12.6
7/28	$9^{\circ}00'$	第1回目ドレン	"	2.5 l

7月26日の第1~第4回目のドレンは、全体的に鉄分らしきものが多く含まれており、濃いNaOHが含まれたどろどろしたものであった。7月27日の第2回目ドレン以

降は、透明度の高い潮解液であり、わずかに黒色の鉄分が見分けられる程度であった。

以上のことから、SGの蒸気洗浄は7月26日でほぼ終了していたと考えられる。これは水素濃度から考えても7月26日は水素濃度は全体的に高かったのに7月27日には、1%近くで安定していたことからも肯首出来る。

(8) SG 内部温度

蒸気洗浄中、SG内部温度も水素濃度と同様にナトリウム+蒸気の反応状態を温度より検知する目的で、監視した。初期蒸気注入時、蒸気量 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ にて洗浄中 TE 2-12 の熱電対に約 15°C の瞬間的上昇が見られた。この点でナトリウム+蒸気の反応があつたと考えられる。その後は、蒸気注入量が多くなり、蒸気温度により、SG内部の温度が全体的に高まって温度が上昇したことが確認された。

なお熱電対は、3.2 φのウェルに保護されたもので、記録計は1分周期の打点式を使用した。

5.2 水蒸気量とナトリウム処理量

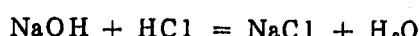
水蒸気使用経過を図 5-1 に示す。

本洗浄に使用した水蒸気量は総合計約 617 m^3 であった。洗浄後、採取した潮解液量は合計約 186 l なので、注入蒸気量 617 m^3 に対して、注入量の約 $3/4$ の蒸気が蒸気の状体で排気系より屋外に逃げ出したことになる。

以下、洗浄後潮解液を塩酸による中和滴定法より求めた推定ナトリウム量と総計のナトリウム処理量を次項に示す。

なお、中和滴定法は以下の通りである。

関係式



$$\text{NaOH} \times V_{\text{NaOH}} = \text{HCl} + V_{\text{HCl}}$$

V_{NaOH} = 潮解液

$\text{HCl} = 20.5 \text{ wt\%}$

V_{HCl} = HCl 中和滴定量

指示薬、フェノールフタレン液

フェノールフタレン液で指示した一定量 NaOH に対して HCl 量をどれだけ使用したかを知る方法である。

なお、精度を良くする為、今回は 5 回の平均をとった。

潮解液分析結果

7月26日第1回目	ドレン内ナトリウム量	ドレン量	5 l
-----------	------------	------	-----

平均塩酸使用量 24.7 cc

$$\text{NaOH} \times 15 \text{ cc} = \frac{0.205 \times 1000}{36.5} \times 24.7 \text{ cc}$$

$$\text{NaOH} = 9.25 \text{ mol}$$

$$\text{Na量} = 23 \times 9.25 \times 5 \ell = 1063.75 \text{ g}$$

第2回目 ドレン内ナトリウム量 ドレン量 20 ℓ
 平均塩酸使用量 23.6 cc

$$\text{NaOH} \times 15 \text{ cc} = \frac{0.205 \times 1000}{36.5} \times 23.6 \text{ cc}$$

$$\text{NaOH} = 8.84 \text{ mol}$$

$$\text{Na量} = 23 \times 8.84 \times 20 \ell = 4066.4 \text{ g}$$

第3回目 ドレン内ナトリウム量 ドレン量 37.5 ℓ
 平均塩酸使用量 12.86 cc

$$\text{NaOH} \times 15 \text{ cc} = \frac{0.205 \times 1000}{36.5} \times 12.86 \text{ cc}$$

$$\text{NaOH} = 4.82 \text{ mol}$$

$$\text{Na量} = 23 \times 4.82 \times 37.5 \ell = 4157.25 \text{ g}$$

第4回目 ドレン内ナトリウム量 ドレン量 33.75 ℓ
 平均塩酸使用量 2.32 cc

$$\text{NaOH} \times 15 \text{ cc} = \frac{0.205 \times 1000}{36.5} \times 2.32 \text{ cc}$$

$$\text{NaOH} = 0.89 \text{ mol}$$

$$\text{Na量} = 23 \times 0.89 \times 33.75 \ell = 690.86 \text{ g}$$

7月27日第2回目 ドレン内ナトリウム量 ドレン量 90.0 ℓ
 平均塩酸使用量 0.7 cc

$$\text{NaOH} \times 15 \text{ cc} = \frac{0.205 \times 1000}{36.5} \times 0.7 \text{ cc}$$

$$\text{NaOH} = 0.26 \text{ mol}$$

$$\text{Na量} = 23 \times 0.26 \times 90 \ell = 538.2 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{TOTAL Na量} &= 1063.75 \text{ g} + 4066.4 \text{ g} + 4157.25 \text{ g} + 690.86 \text{ g} + 538.2 \text{ g} \\ &= 10516.46 \text{ g} \end{aligned}$$

中和滴定法により約10.5 Kgのナトリウムが処理されたことになるが、下記の様な問題点がある。

- 1) サンプルの取出し

サンプルの取出しは、ドレン最初のものであり、その時点のドレン量に対してほんの一
部分のものであり、よくかくはんされていない。

また、7月27日に処理したものは第2回目だけのサンプルで全体の評価をしている。

2) NaOHの屋外放出

蒸気注入量の約3/4の蒸気がブリザーブを通して排気された際、蒸気と一緒にNaOH
が屋外へ放出された可能性が多大である。

3) サンプル分析時の誤差

以上の事から求められたナトリウム処理量はあくまでも目安として掲げるものである。

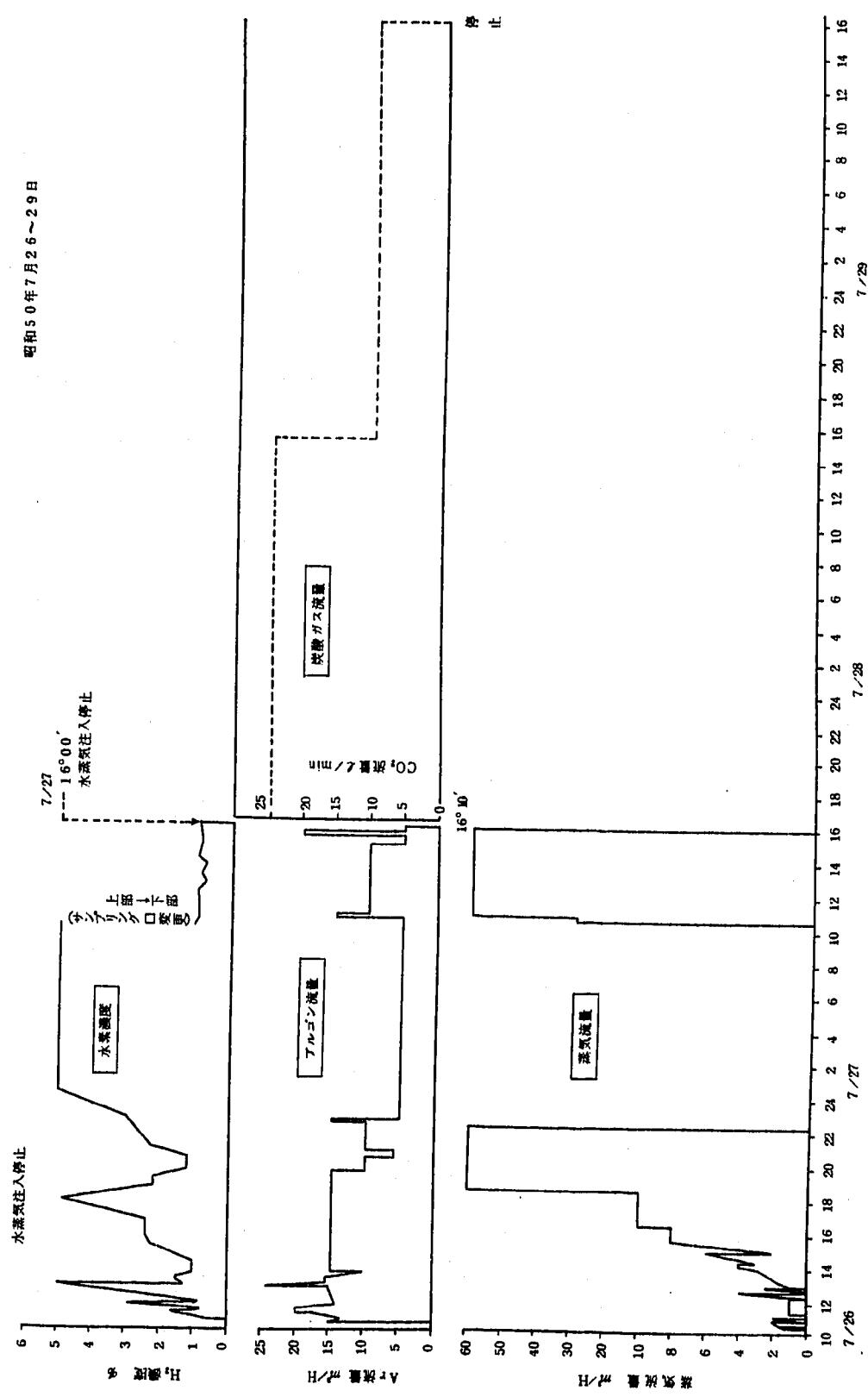
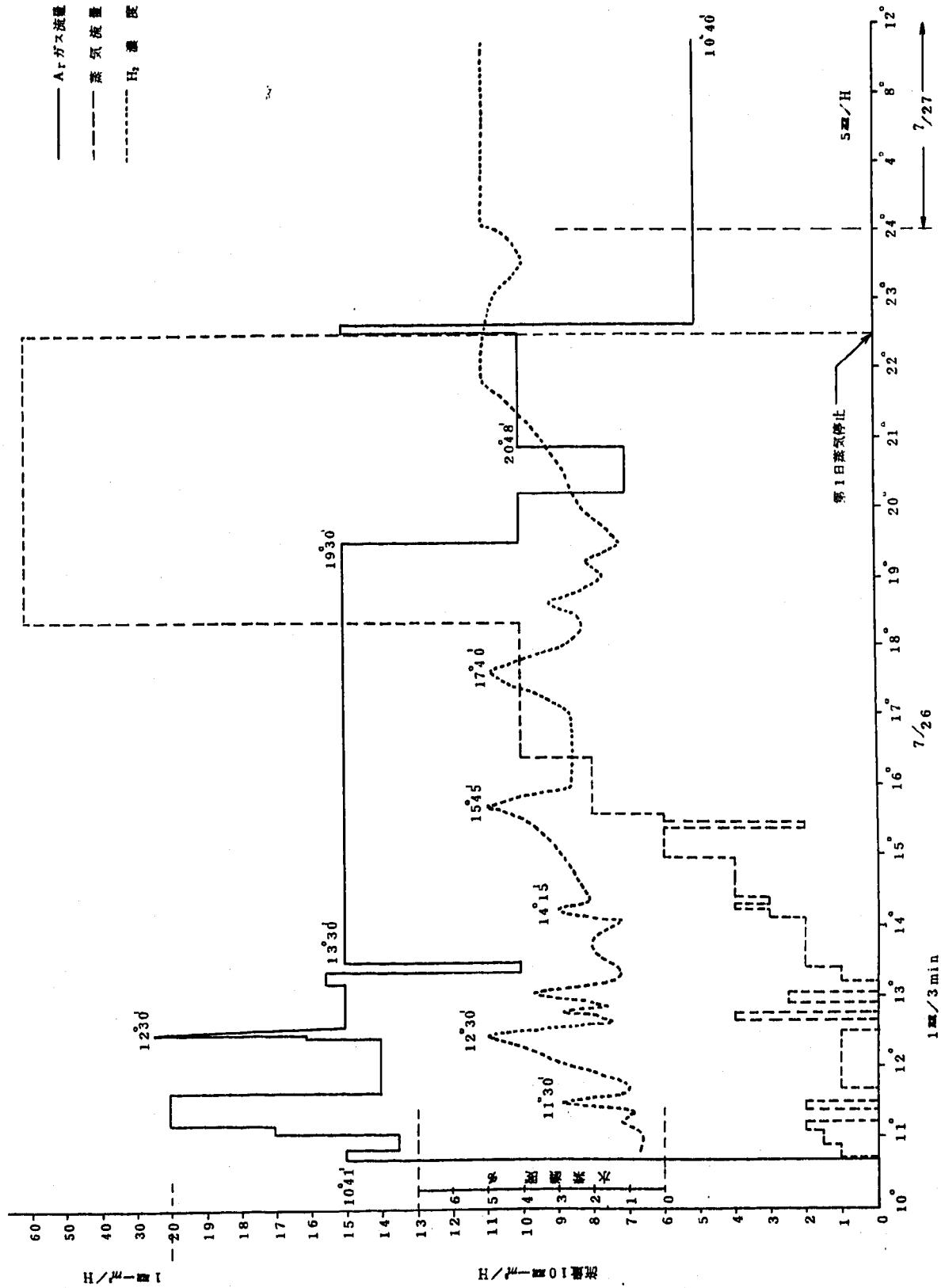


図 5.1 IMW SG 洗浄経過 -1



S · 50—7月26日分Ar蒸氣流量及 ϕH_2 濃度

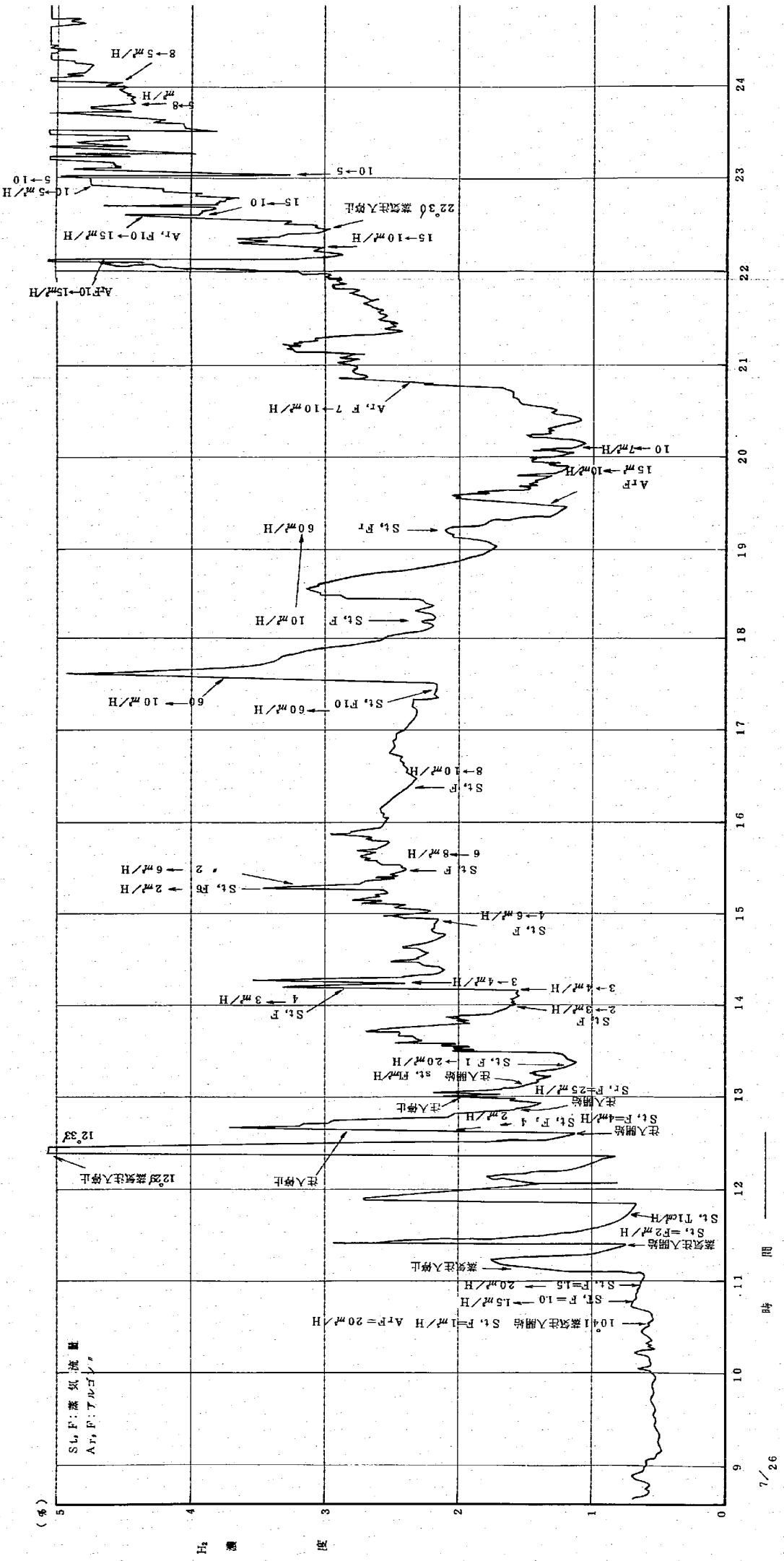
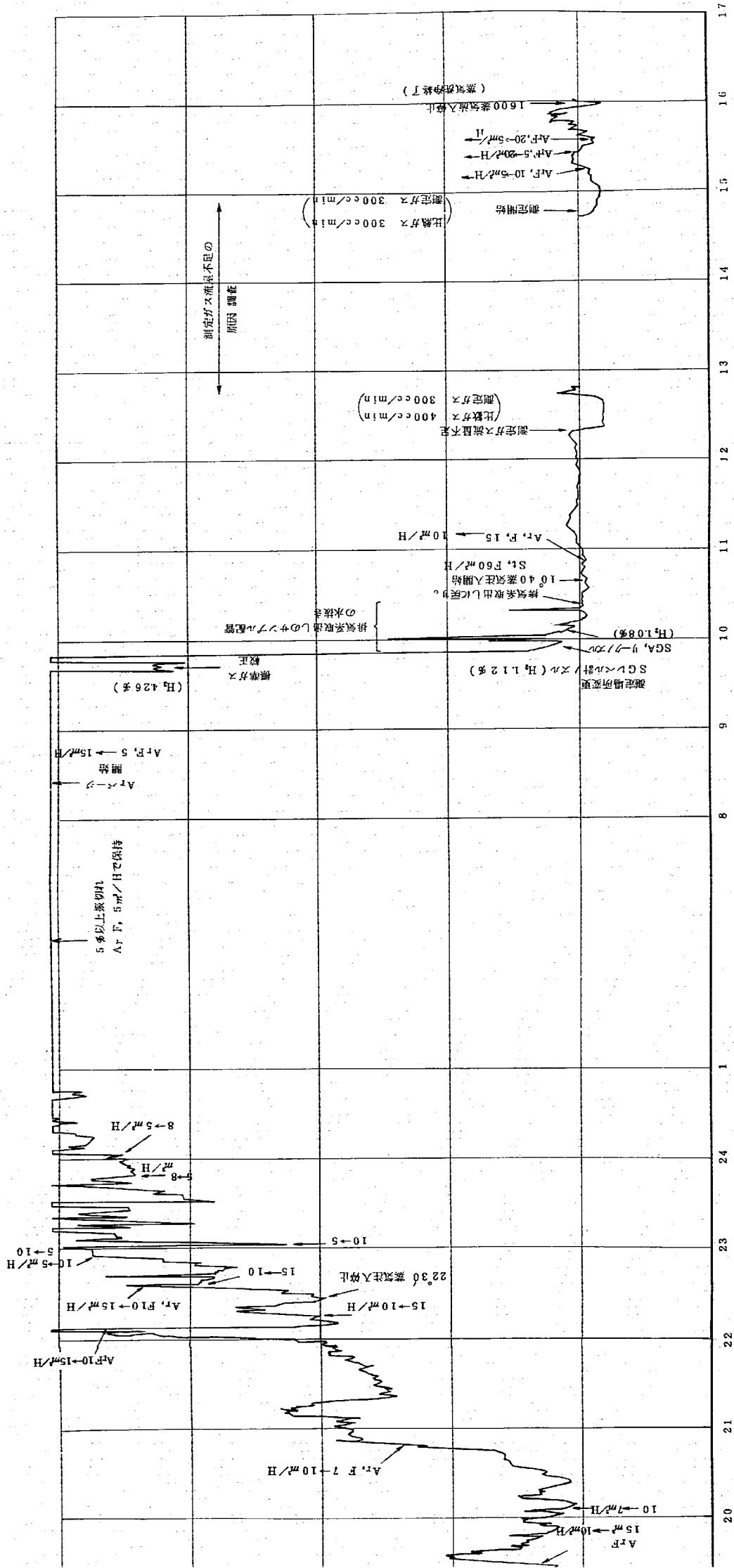


図 5.3 H₂ 濃度 測定 結果



5.3 洗浄時のガス消費量

洗浄時のアルゴンガス消費経過を図5-1に示す。

TOTALでは、SG内に $1\text{ Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ に減圧したガスを 226 m^3 流入し、実際に消費したアルゴンガスは(容量 7 N m^3 $150\text{ Kg}/\text{cm}^2$)ポンベ37本と液化アルゴンポンベ(容量 100 N m^3 $17\text{ Kg}/\text{cm}^2$)3本であった。

また、炭酸ガス処理に消費した炭酸ガスは、 $2\text{ Kg}/\text{cm}^2$ に減圧しTOTALで 51 m^3 流入し、炭酸ガスピボンベ(容量 25 N m^3)を3本消費した。

5.4 炭酸ガスによる処理効果

SG解体後の洗浄結果を観察した所、洗浄結果はほぼ良好であった。

炭酸ガスによる処理効果は分離シラウド外側にフランジ部より 2 m 下に洗浄後の潮解液が炭酸ナトリウム化した形跡があるのみで良好であった。

5.5 洗浄装置の問題点

蒸気洗浄中及び洗浄装置の解体を行った際にみられた洗浄装置のトラブルについて記す。

5.5.1 排気系ブリーザー弁の故障

ブリーザー弁は系内の圧力が 40 mmAq になると弁体が押し上げられガスを放出させる弁(図5.4)であるが、放出ガス中のNaOHによりアルミの弁座付近の接触面が腐食し、正常な作動をしなくなった。この腐食により弁が開放状態のまゝ使用されたことにより、洗浄用混合ガスが無駄に屋外へ放出されたものと考えられる。その量は、注入蒸気量 617 m^3 に対して約75%の蒸気が逃げたものと推定される。

ブリーザー弁腐食の直接的原因としては高濃度アルカリ液(NaOH)による腐食であるが、その液にさらされた原因としては、

- I) ブリーザー弁の圧力設定の低いこと
- II) フード取付け向きの選定不良
- III) 排気系本体取付け位置の選定不良

などが挙げられる。

5.5.2 水素濃度計の故障

ガスサンプリング用サンプリングポンプの能力が洗浄作業中に低下し、規定量の 400 cc/min より 250 cc/min に低下した。その原因是サンプリングポンプのダイヤフラム押えがアルミニウムで作られており、NaOHなど腐食性の物質を含むサンプルガスによりその部分が腐食されて能力低下をおこしたことが解体検査により判明した。水素濃度検出計としての機能は低流量でも使用可能ではあったが、対策としては、

- I) サンブルガス中の不純物の除去
 - II) サンブルガス冷却能力の増加
 - III) サンブリングポンプの内部材質の変更
- 等が挙げられる。

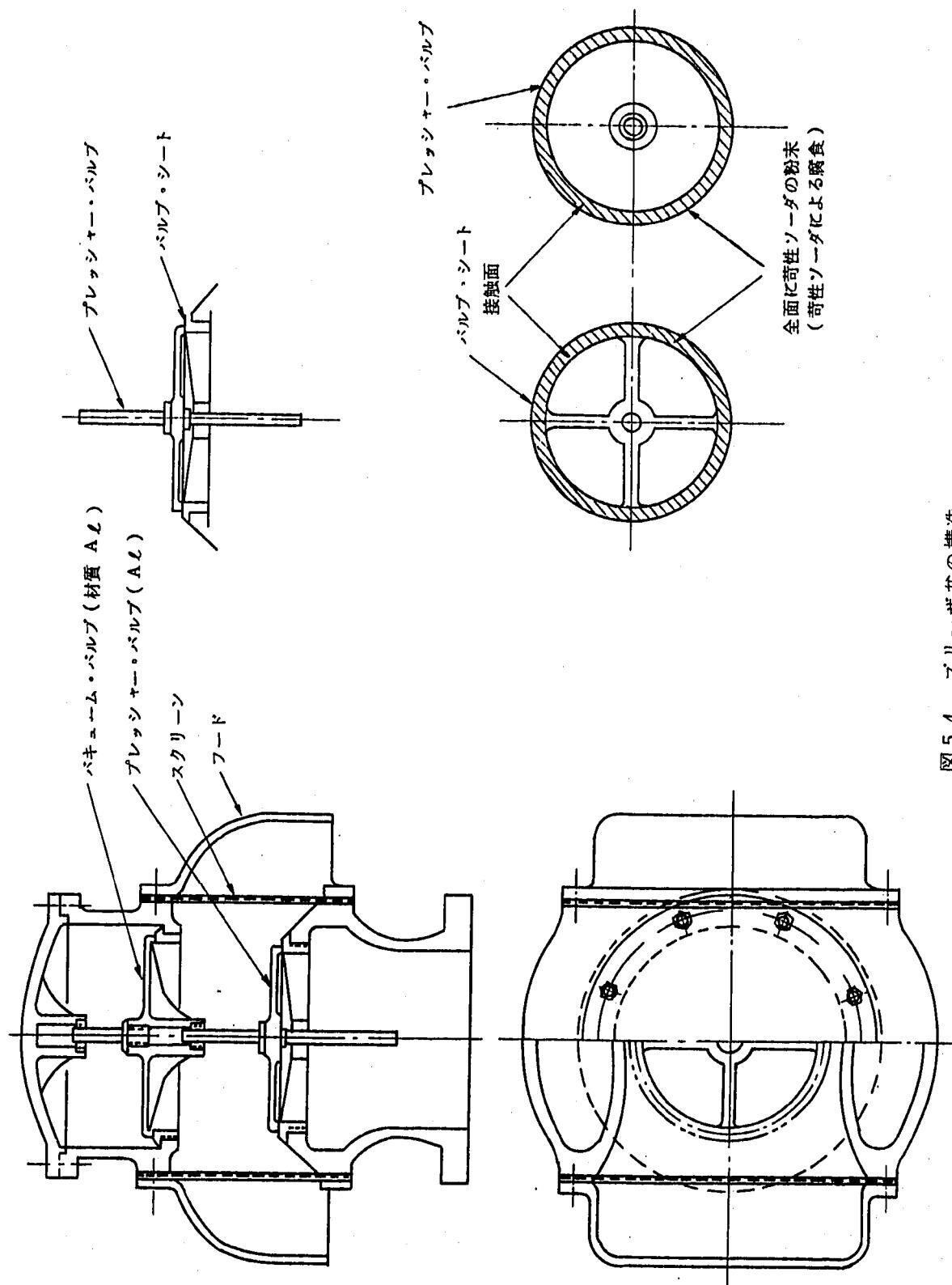


図 5.4 プリーザ弁の構造

6 解体作業および解体検査

洗浄後、下部胴を引抜かれた管東部は、50MWSG試験室建屋内のナトリウム機器室においてターニングローラ上にセットされ、この状態で作業が進められた。

表6.1は検査を含めた解体工事の全体的な工程の実績であり、表6.2は今回実施した検査内容の概要である。

6.1 解体作業

6.1.1 下降管および熱遮蔽管の解体

伝熱管は全部で10本あり、その内、通水管はA管とF管の二本である。通水管の下降管部は、熱遮蔽管を有する二重管構造になっている。この熱遮蔽管の解体は材料試験用の試験片素材を内部の通水管から切り出すために、できるだけ内部の通水管を傷つけないように注意して熱遮蔽管のサポートを取りはずし、帶鋸により熱遮蔽管と内部の通水管と共に二重管のまゝ数カ所にて切断し通水管を抜き取った。他のダミー管8本(通水せずアルゴンを封じ込め)は、分離シラウド解体の際、便利なようにフランジ部付近とUペント部の上下端2カ所をガス切断するだけにとどめた。

6.1.2 分離シラウドの解体

下降管を全て解体してから、分離シラウドを以下のように縦割2分割にて解体した。切断位置として 30° と 210° 方向を選択した。これは分離シラウドをグラインダで切断中誤って伝熱管を傷つけることのないように切断位置を伝熱管サポート上にもつてきただめである。切断作業は管東部を傷つけないように最初アーケエアーガウジングにより肉厚数mmを残してはつりを行った。最終的にはグラインダで完全に分離シラウドを切断した。切断された分離シラウドはクレーンを使用して管東部本体から取り外した。

6.1.3 材料試験用試験片素材の採取

解体後予定されている材料試験計画に従って試験片素材の採取を行った。伝熱管に主体をおき、その他ナトリウム出入口配管異材溶接部から試験片素材を採取した。図6.1に試験片採取位置を、表6.3に試験片切出し仕様を示す。試験片素材の切出しにあたっては、図6.1及び表6.3に従って切出し位置をケガき、刻印後帶鋸にて切断した。

伝熱管サポート部については、サポートと伝熱管の接触部付近において伝熱管に摩耗痕が観察されたためその一部を詳細検査のため採取したサポート部より約10.0mm位離れた位置から伝熱管とサポートが組まれたまゝの状態で内部シラウドごとガス溶断して採取した。内部シラウドをガス溶断した際、内部に密封されていたアルゴンガスが一時噴出

表 6.1 解体工事の工程

項目	月日	8月													1975年
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. 管支持を横置きにしローラー上にセット															
2. 解体前検査															
3. 下降管部解体															
4. 解体中検査															
5. 分離シュラウド解体															
6. 分離シュラウド解体中検査															
7. ヘリカル管の解体															
8. ヘリカル管の解体 前、解体中検査															
9. T・P包装															

(実績値)

表 6.2 解体検査の概要

検査工程	検査対象箇所	検査方法						検査対象項目	備考
		V	Ph	S	A	M	Pt	T	
撤去作業時	1.誘導式液面計	○	○	○	○	○	○	1.液位計の変形の有無 2.残留ナトリウムの確認	
	2.胸フランジアブルード	○	○	○	○	○	○	1.異常の有無の確認 2.残留ナトリウムの観察	
	3.ラブチャーティスク	○	○	○	○	○	○	1.残留ナトリウムの確認 2.変形の有無の確認	
	4.胴体内部	○	○	○	○	○	○	1.残留ナトリウムの観察(洗浄前) 2.異常の有無の確認 3.洗浄効果の観察(洗浄後)	
	5.胴体保護ライナー内面	○	○	○	○	○	○		
	6.熱導管および管サポート部	○	○	○	○	○	○		
	7.U字管部	○	○	○	○	○	○		
	8.下降管分離シミュラウド外部	○	○	○	○	○	○		
	9.サーモカップ取付状況	○	○	○	○	○	○		
解体作業開始前 (洗浄前後に実施)	1.熱導管内外面及びサポート部	○	○	○	○	○	○	注1	注1.フレードヘッド部のみ
	2.通水下降管	○	○	○	○	○	○		
	3. " のU字管部	○	○	○	○	○	○		
	4.下降管分離シミュラウド内部	○	○	○	○	○	○		
	5.伝熱管ヘリカルコイル部	○	○	○	○	○	○		
	6. " " サポート	○	○	○	○	○	○		
	7.ナトリウム分配管	○	○	○	○	○	○		
	8.胴体保護ライナー内外面	○	○	○	○	○	○		
	9.サーモカップ(通水下降管内のみ)	○	○	○	○	○	○		
	10.ナトリウム配管異材溶接部	○	○	○	○	○	○		
解体作業中の 解体作業の撤去 2分離シミュラウドの解体	1.伝熱管およびナトリウム配管異材溶接部	○	○	○	○	○	○		
	2.ナトリウム配管異材溶接部	○	○	○	○	○	○		
解体作業後の 材料試験	1.伝熱管およびナトリウム配管異材溶接部	○	○	○	○	○	○		
	2.ナトリウム配管異材溶接部	○	○	○	○	○	○		

V: 目視検査 Ph: 写真記録(カラー)
 S: サンプル採取 A: 変形測定
 M: 尺法測定 Pt: カラーチェック
 T: 材料試験

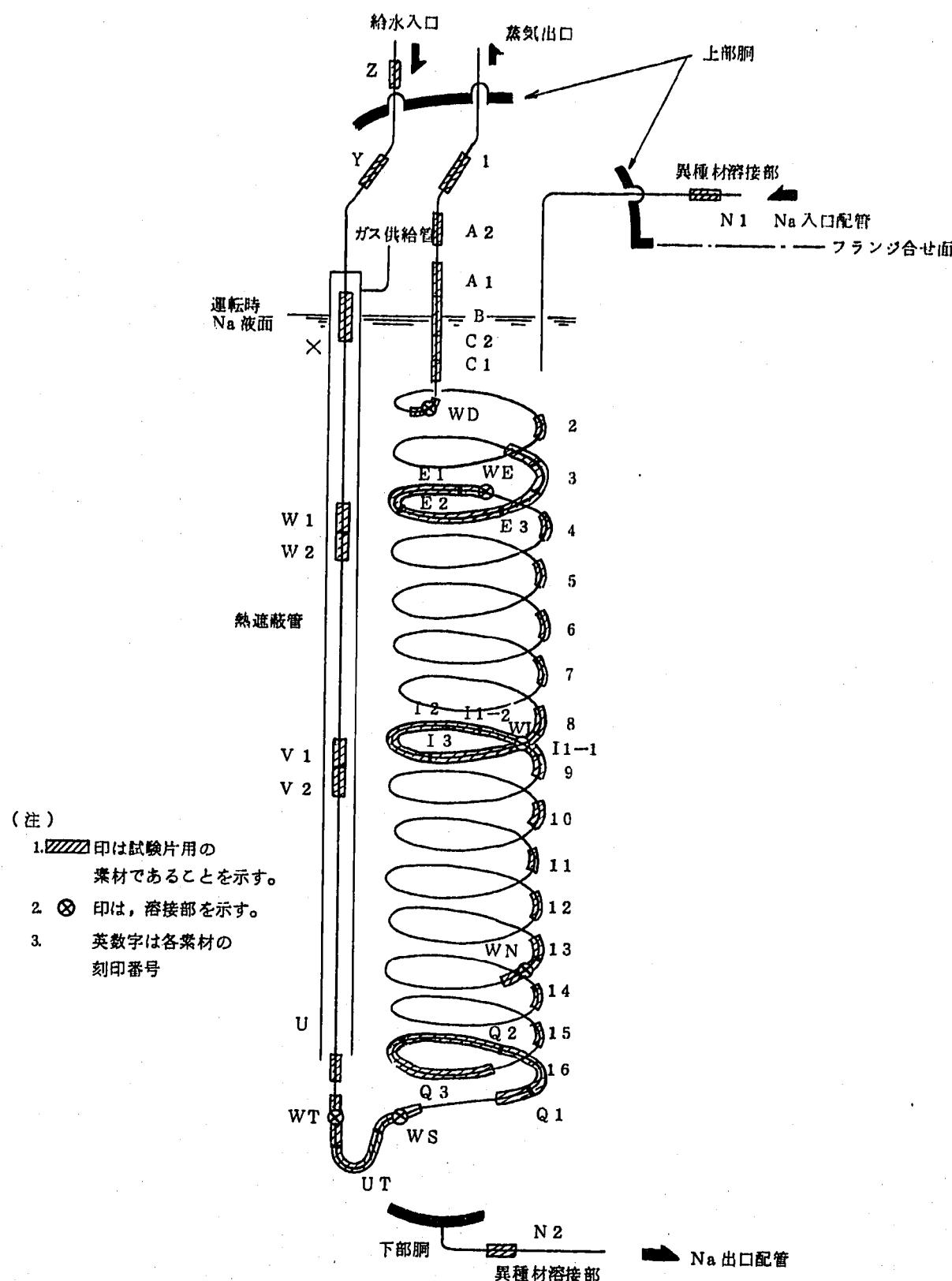


図 6.1 伝熱管 (A・下管) 及びナトリウム配管の T・P 採取位置

表 6.3 材料試験片用素材切出し仕様

TP用素材の位置及び名称	切出し員数				形 状	長さ (mm)	採 収 位 置		
	A管	F管	D管	K管			⊕ガス域	⊖Na域	
1 Arガス領域	1	1			直 管	300	フランジ面から下流側に200mm離す		
A "	2	2			"	200	A1…⊕200±100mm A2…⊖170±100mm		
B Na液面変動域	1	1			"	200	Na液面を中心として⊕100mm		
C 過熱域(直管)	2	2			"	175	⊖450から下流側に175mm×2		
WD 溶接部 D	1	1			コイル状	200	溶接部中心に±100mm		
2 過熱領域	1	1			"	400	A管は、中心を0°から下流側に360mm離す		
E "	3	3	E1に含まれる		"	900	溶接部WEも含まれる。		
3 "	1	(1)			"	400	δ方向を中心に±200mm		
4 "	1	1			"	"			
5 "	1	1			"	"			
6 "	1	1			"	"			
7 "	1	1			"	"			
8 "	1	(1)	I2に含まれる		"	"	A管は中心を0°から下流側に300mm離す		
I 沸とう領域	3	3	I2に含まれる		"	900	溶接部WIも含まれる		
9 "	1	1			"	400	δ方向を中心に±200mm		
10 "	1	1			"	"			
11 "	1	1			"	"			
12 "	1	1			"	"			
13 "	1	1			"	"	F管は、中心を0°から上流側に340mm離す		
WN 予熱領域	1	1			"	200	溶接部中心に±100mm		
14 "	1	1			"	400	"		
15 "	1	1			"	"			
Q "	3	3	F管は基準を下流側に265mm離す Q2に含まれる		"	900	伝熱管立上り位置より180°離したところを基準に上流側に1ターンとする。		
16 "	(1)	1			"	400	0°方向を中心に±200mm		
WS "	1	1			"	200	溶接部中心に±100mm		
UT 下降管 U部	1	1			U字形				
WT 下降管(底部)	1	1	1	1	曲 管	200	溶接部中心に±100mm		
U " (下部)	1	1			直 管		熱遮蔽管下端から上流側に100mm, 下流側はA管が80mm, F管は45mmの寸法		
V " (中部)	2	2			"	200	熱遮蔽管の肩より-4900mmを中心に±200mm		
W " (")	2	2			"	"	-2600mm		
X " (上部)	1	1			"	"	±100mmを中心に±200mm		
Y " (Arガス)	1	1			直 管	300	フランジ面から上流側に200mm離す		
Z " (空気域)	1	1			"	200	フリードヘッドの肩から上流側に80mm離す		
バット型溶接熱影響	9				コイル状	100	熱電対を中心に±50mm		
N1 Na入口配管異形端子	(1)				直 管	50	溶接部中心に±25mm		
N2 Na出口 "	(1)				"	"	"		

したが、すぐ止った。

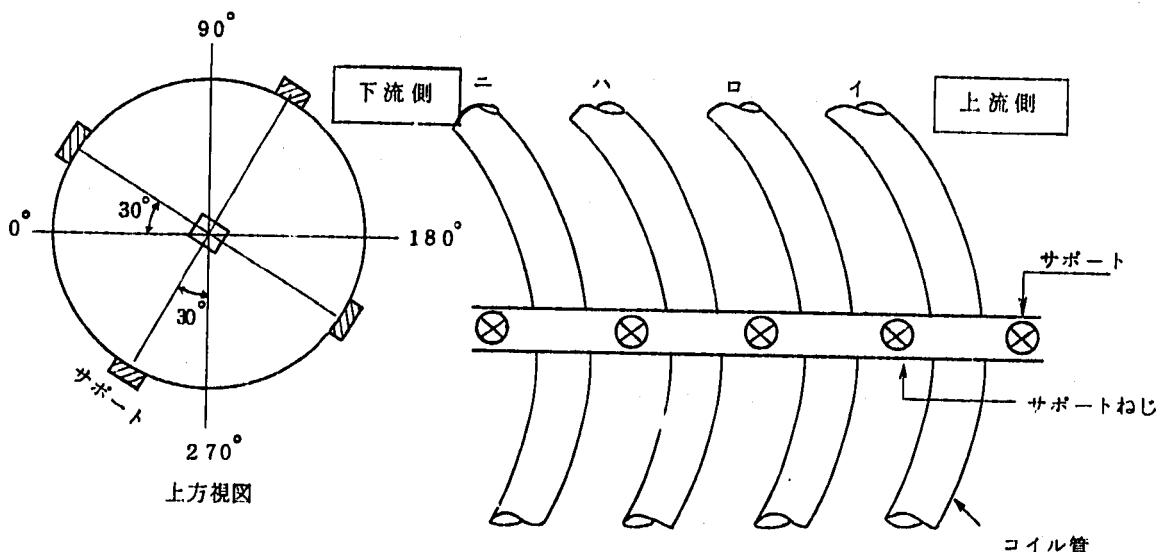
表 6.4 および図 6.2 に伝熱管サポート部の試験片を採取した位置と形状を示す。

表 6.4 伝熱管コイルサポート部 T P 採取位置

刻印記号	サポート方向	イ	ロ	ハ	ニ	きずが見られる管
300-1	300°	B-0	C-0	D-0	E-0	B, C, D管
300-2	"	B-2	C-2	D-2	E-2	C管
300-3	"	B-3	C-3	D-3	E-3	B, C管

(注) B-①

管記号 上流側コイル出発点からのターン番号



6.2 図 サポート部 T・P 形状

下部胴については、フランジ下約3400mmの位置から形状約200mm×200mmで長手方向の溶接部を含んだ試験片素材をガス溶断にて採取した。

また伝熱管外壁温度測定用のパッド型溶接部9個所についても温度較正および隅肉溶接部とクレピス部の材料試験のため熱電対と共に採取された。以上採取された材料試験用素材は、デシケーター中に保管された。伝熱管については、管内にN₂ガスを入れ両端をゴム栓にて密封したものを更にビニールホースの中に入れN₂ガスを入れて両端を密封し、伝熱管の内外面が酸化されないように保管された。

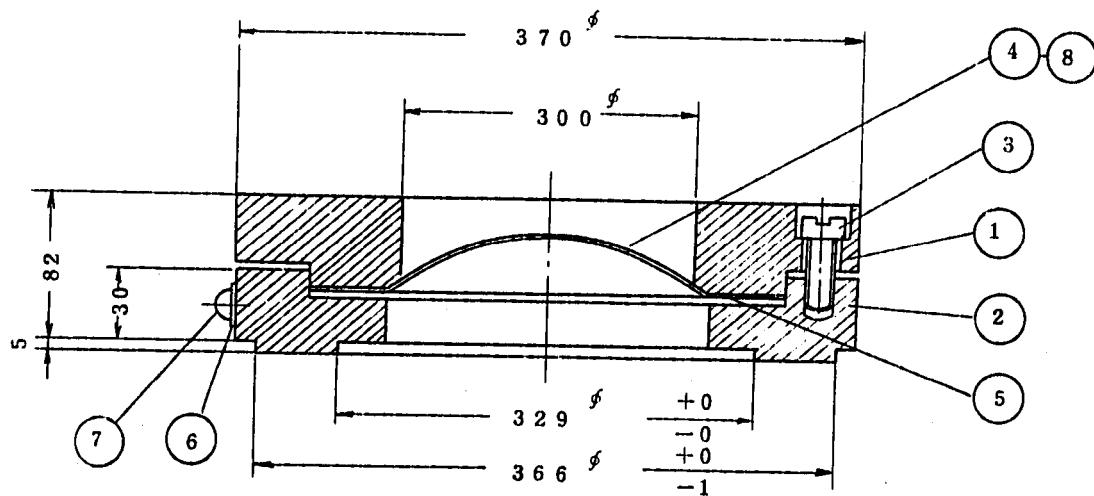
6.2 検査状況

6.2.1 撤去作業時の検査(洗浄前)

1) ラブチャーディスク

ラブチャーディスクは、図6.3に示されているように有孔のバキュームサポート板で支持された2重構造になっている。使用期間は1974年2月から今回解体されるまで約1年3ヶ月である。

ナトリウムの付着状況はSG側のバキュームサポート板周辺(写真6.1), ラブチャーディスクとバキュームサポート板とのすき間全面およびラブチャーディスクの大気側周辺(写真6.2)に著しくナトリウムが付着していた。ラブチャーディスク洗浄後カラーチェックを行ったところラブチャーディスクの周辺部に多数のピンホールのあることが発見された。写真6.3はピンホール個所の検出のためカラーチェックを行なつたものである。ピンホールの発生は写真に見られるように上部ホルダーに押しつけられた形で接触していた円周全域に点在している。孔の径は大体0.5mm以下であった。また、1号1MW SGおよびフェルミ炉SGにおいて観察されたのと同様な亀の子状紋様が全面に生じていた。(写真6.2)亀の子状紋様については、ナトリウムチャージ時にSG内を真空引きした時に生じたものと考えられるが、ピンホールの発生については、ホルダーの内径縁にあるものはセット時にシート面に異物を噛んでいたか、真空操作時の繰返しによる局所的な変形によるものか、あるいは腐食などによるものかはつきりしない。なお、1次1MW SGの解体検査ではこのような現象は発見されていない。



品番	部品名	材質	個数	品番	部品名	材質	個数
1	ホルダー(L)	SUS27B	1	5	ガスケット	T=910	1
2	ホルダー(H)	SUS27B	1	6	銘板	SUS27B	1
3	平小ネジ	SUS27B	4	7	打込みネジ	SUS27B	2
4	ディスク	AIH-O	1	8	バキュームサポート	SUS27B	1

図6.3 ラブチャーディスク

2) 胴フランジリップ溶接部

S G 洗浄にて先立って胴フランジリップ溶接部の目視観察、カラー・チェックを行った。全周にわって特に異状は認められなかつた。

3) ダウンカマ部誘導式ナトリウム液面計

液面計は、図 6.4 に示すように全面に渡つてナトリウムが付着していた。特にガス域部にナトリウムが多く付着していた。この誘導式ナトリウム液面計は S G 洗浄前に取り外し観察したものである。液面計の変形は、目視で変形とわかるようなものは認められなかつた。また液面変動域についても特に腐食されているような様子はなかつた。

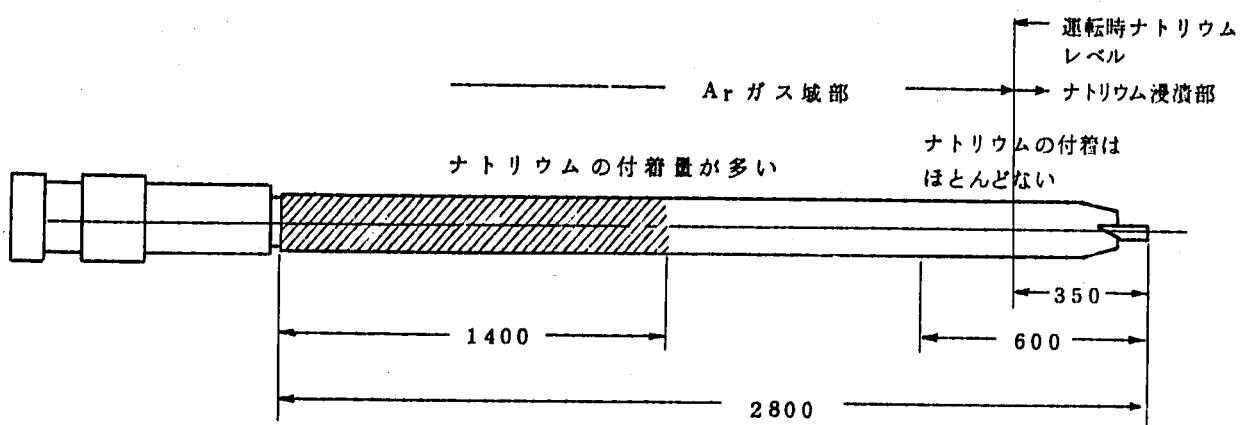


図 6.4 ダウンカマ部液位計ナトリウムの付着状況

6.2.2 洗浄後解体前の検査

1) 外観観察

S G 洗浄後、管東部をターニングローラに載せて全体の目視観察を行つた。下降管及び内部シラウド外表面に黒色のすすのような物質が付着しており、特に上部は著しかつた。S G 洗浄後の全体の様子を写真 6.10 に示す。また、局所的に炭酸ナトリウムと思われる灰白色の物質がこびり付いていた。(写真 6.4) 管東部中部、下部は共に灰色で付着物は少なくナトリウムはきれいに洗浄されていた。上部鏡板内部は、管東部上部と同様全面に黒色のすすのような物質が付着していた。

以上の真黒いすすのような粉末の物質は磁性があり、X線回折分析の結果では、 Fe_3O_4 であることが確認された。これは、蒸気洗浄の際の水分が内部構造物の表面に付着していいたナトリウムと接触した結果、内部構造物の極く表面で急激に発生した反応熱により水と鉄が反応してこの物質が生成されたものと考えられる。また写真 6.4 で観察されたような灰白色の物質は化学分析および X 線回析分析の結果約 91 % が $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ であり残りは水不溶性物質であることが確実された。このことは蒸気洗浄後、潮解液をドレ

し、容器内に残留した潮解液中の NaOH を安定化するために CO₂ ガスを送気した結果が腐食性のない安定な物質に変換できたこと示すものといえる。第 1 次 1 MWS G の蒸気洗浄時にも黒い粉末が生成され、サンプリングされているが、極く少量のため分析はされなかつた。灰白色の物質も同様に解体洗浄後に生成しており、これは分析の結果今回と同一物質のものであつた。

下部胴の内面は灰色で管東部で見られたような付着物はほとんどなく非常にきれいであつた。

分離シュラウドサポート用止めネジは分離シュラウド上部、下部にそれぞれ 4 個づつあるが、その内下部の 4 個のネジ部点付溶接部に全数割れが入っていた。液体浸透探傷検査の結果を写真 6.5 に示す。この止めネジは分離シュラウドと内部シュラウドとを固定している役目をするものである。起動時あるいは運転時において、内部シュラウドと分離シュラウドの間に温度差を生じ、それによるシュラウドの伸び差がシュラウド部に集積されて割れが発生したものと思われる。分離シュラウドと内部シュラウドは、上部においては、がっちりと固定されているため伸びは下方に集積される構造になつてゐる。

2) 寸法検査

a) 伝熱管下端の U ベンド部

伝熱管 U ベント部の寸法検査は図 6.5 に示す個所について全数それぞれ実測した。測定結果を運転前の実測値と比較して表 6.5 に示した。表 6.5 によると①の寸法についてはダミー管 8 本が +2 ~ +4 の変形量を示している。これは測定精度を考えると正確な評価はむづかしいが、全てプラス側の結果となつてることから製造時の冷間加工による残留応力が高温のナトリウムにより解放されて、曲げの径が大きくなつたとも考えられる。④の寸法は設計寸法が 142 mm であるが、製造時に既に 149.3 ~ 219 mm と最大約 70 mm の差がある。表 6.5 によると製造時と比較して B 管が 7 mm 縮少し、J 管が 29 mm 伸びているが、その他のダミー管はそれ程の変形量ではなく、通水管 A, F 管については全く変形していない。一般的に考えると通水管の場合はダウンカマ下端の伸びの方が内部シュラウド側よりも小さいので、ダウンカマ自体の温度がナトリウム温度に等しくなるダミー管よりも変形を起す可能性は大きい筈であるが、測定結果は全く逆になつてゐる。前回の第 1 次 1 MWS G の解体検査ではこの部分の製造時の寸法が明らかでないので今回の結果と単純に比較できないが、前回の結果でも熱応力的に無理のないダミー管の方が大きく変形しており、原因の説明つかない。

分離シュラウドと内部シュラウドに対する伝熱管との間隔④⑤⑥の変形量測定結果では H 管以外はほとんど問題がない。H 管のみなぜ変形が大きく出たのか説明は困難

であるがダウンカマ部とコイル部および分離シュラウドと内部シュラウドの温度差による伸び差が全てUペント下端部に集積され、この部分に可成り大きな熱応力がはたらいていたことは充分考えられる。

3) 液体浸透探傷検査

ナトリウム入口管ノズルフリュードヘッド部、胴体保護ライナー、ナトリウム出口ノズル、外胴の溶接部について行なったがいずれも健全であった。

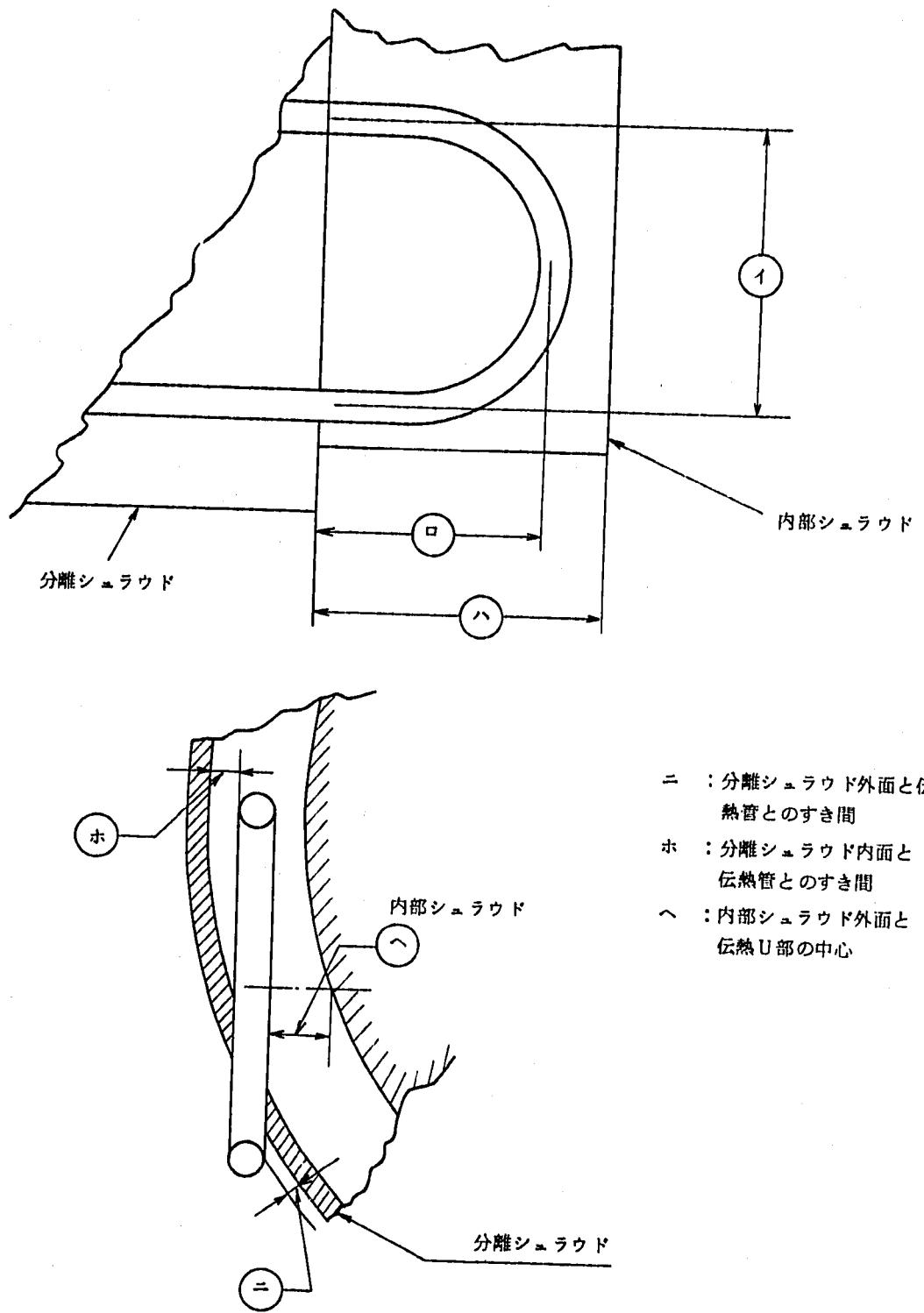


図 6.5 伝熱管 U ベント部寸法検査箇所

表 6.5 伝熱管 U ベント部寸法測定結果

(単位 mm)

測定個所 管番号	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	Ⓓ	Ⓔ	Ⓕ
A 管		163.2	(330)	* 17	* 0	
	285	- 0.2	+ 6	- 1	± 0	19
B "	(281)	(178)	(330)	* 11	* 0	
	+ 2	- 7	+ 3	+ 3	± 0	22
C "	(283)	(186)	(330)	* 17	* 0	
	+ 2	+ 1	± 0	+ 1	+ 1	21
D "	(281)	(181)	(331)	* 13	* 1	
	+ 4	+ 4	+ 2	± 0	- 1	28
E "	(284)	(196)	(331)	* 5	* 7	
	+ 3	+ 2	+ 5	+ 1	± 0	8
F "		149.3	(331)	* 17	* 0	
	283	+ 0.7	+ 2	+ 1	+ 4	19
G "	(281)	(188)	(331)	* 15	* 2	
	+ 3	- 3	+ 3	+ 1	+ 1	16
H "	(283)	(219)	(332)	* 15	* 12	
	+ 2	- 2	+ 4	- 15	- 10.5	5
J "	(283)	(190)	(332)	* 0.3	* 2	
	+ 4	+ 29	+ 1	-- 0.3	+ 1	5
K "	(284)	(199)	(331)	* 2	* 4	
	+ 4	+ 4	+ 3	+ 2	+ 1	12

注 1]

上段：運転前の実測値

下段：解体検査時での変形量

(A , F 管は実測値)

注 2]

運転前の実測値

() 4 7.1 1 / 5

* 4 8.6 / 25

他は 4 9.2 / 2 に測定

注 3]

運転前の測定値がないものは、下段に実測値を入れた。

管番号の指示は下図に示した通りである。

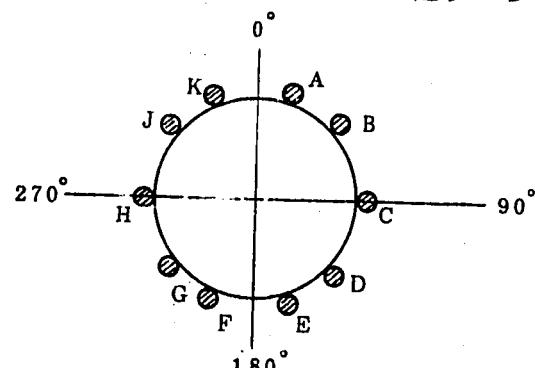


図 6.6 上方視図

E管とH管のU部が内部シラウドと接触していたため接触している位置を測定した。測定箇所を図6.7に結果を表6.6に示す。

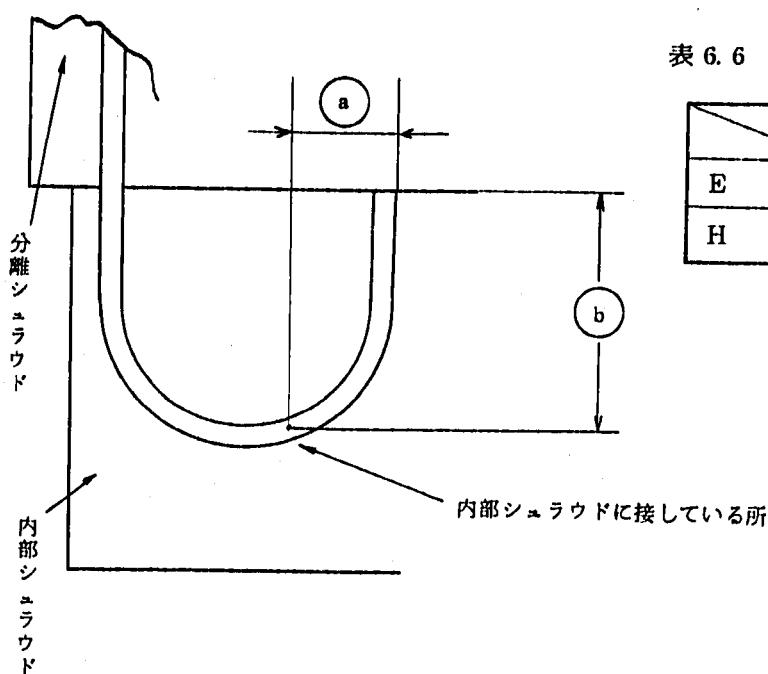


表 6.6 内部シラウドとの接触位置

	(a)	(b)
E 管	65	165
H 管	100	193

(単位 mm)

図 6.7 伝熱管U部の内部シラウド接触位置

4) ダウンカマ直管部の寸法測定

熱遮蔽管内のナトリウムレベル変化がガス圧制御により可能な構造となっており、熱応力上過酷な状態であったと考えられる通水管のダウンカマを対象として図6.8の各部の寸法測定した結果を表6.7に示す。これによると全体的にはほぼ異状変形は見られず、わずかに④の箇所のみが5mm程下部方向に伸びた程度である。

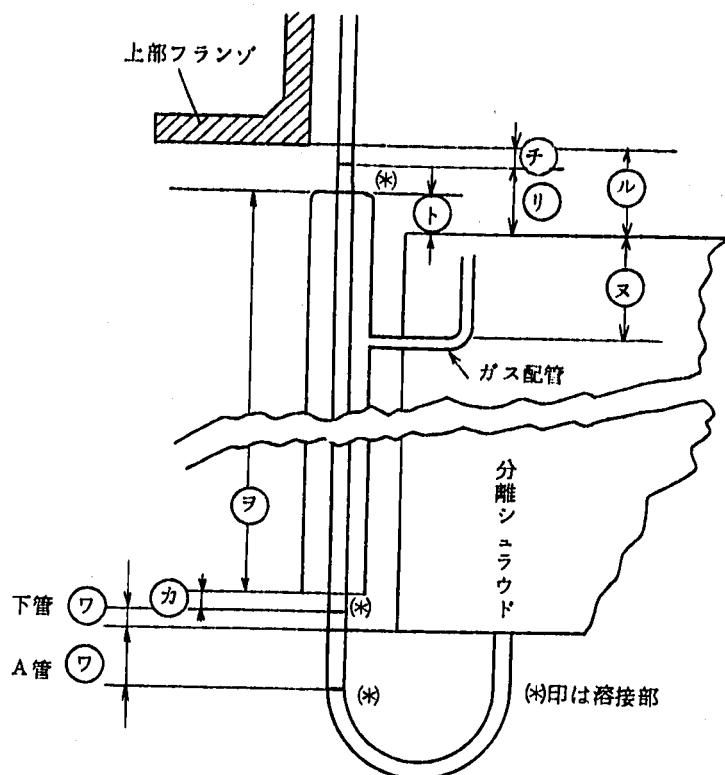


図 6.8 伝熱管寸法検査位置 (A, F管)

表 6.7 通水下降管寸法測定位置

(単位 mm)

	A 管	F 管
Ⓐ	9	8
	11	9
Ⓑ	123	123
	118	118
Ⓒ	127	126
	127	125
Ⓓ	375	377
	376	378
Ⓔ	250	249
	245.5	246
Ⓕ	7,257.5	7,259
	7,258	7,255
Ⓖ	13.0	-28.5
	13.0	-30
Ⓗ	172.6	174
	172	171

註 1]

上段：運転前の実測値

下段：解体検査時の実測値

註 2]

運転前の実測値は、49.2/2

測定

ダミー管についてはダウンカム各部の製造時のデータがないため、回転による影響を定量的に評価することはできなかつた。目視観察では直管の上端部、下端部においてわずかであるが変形が認められ、その中で最も変形量の大きかつたJ管についてのみ変形測定を行なつた。この結果を図6.9に示す。これによると分離シュラウドに対して垂直方向から見た変形は下端部において分離シュラウドに対して接線方向（図6.9のB視）に6mm程曲りが観察され、この方向から見た変形は全体にわたつて波状の曲り変形が観察された。先に述べた伝熱管Uペント部の変形あるいは内部シュラウドと分離シュラウドを下端で固定している止めボルトの点付溶接部の亀裂発生など、総合して考えると、全て各部材の温度差による伸び差が熱応力または力としてはたらき構造的に最も弱い個所に変形として現われたものと考えられる。変形量に可成りの差があるのは、構造物として複雑な形をしており、製造時の微妙な履歴あるいは製作公差等の相違によるものと思われる。今後の設計においては、これら熱膨張に対して厳しい条件におかれると思われる部材については、逃げをいかにとつておくか、前以つて充分な検討が更に必要であると思われる。

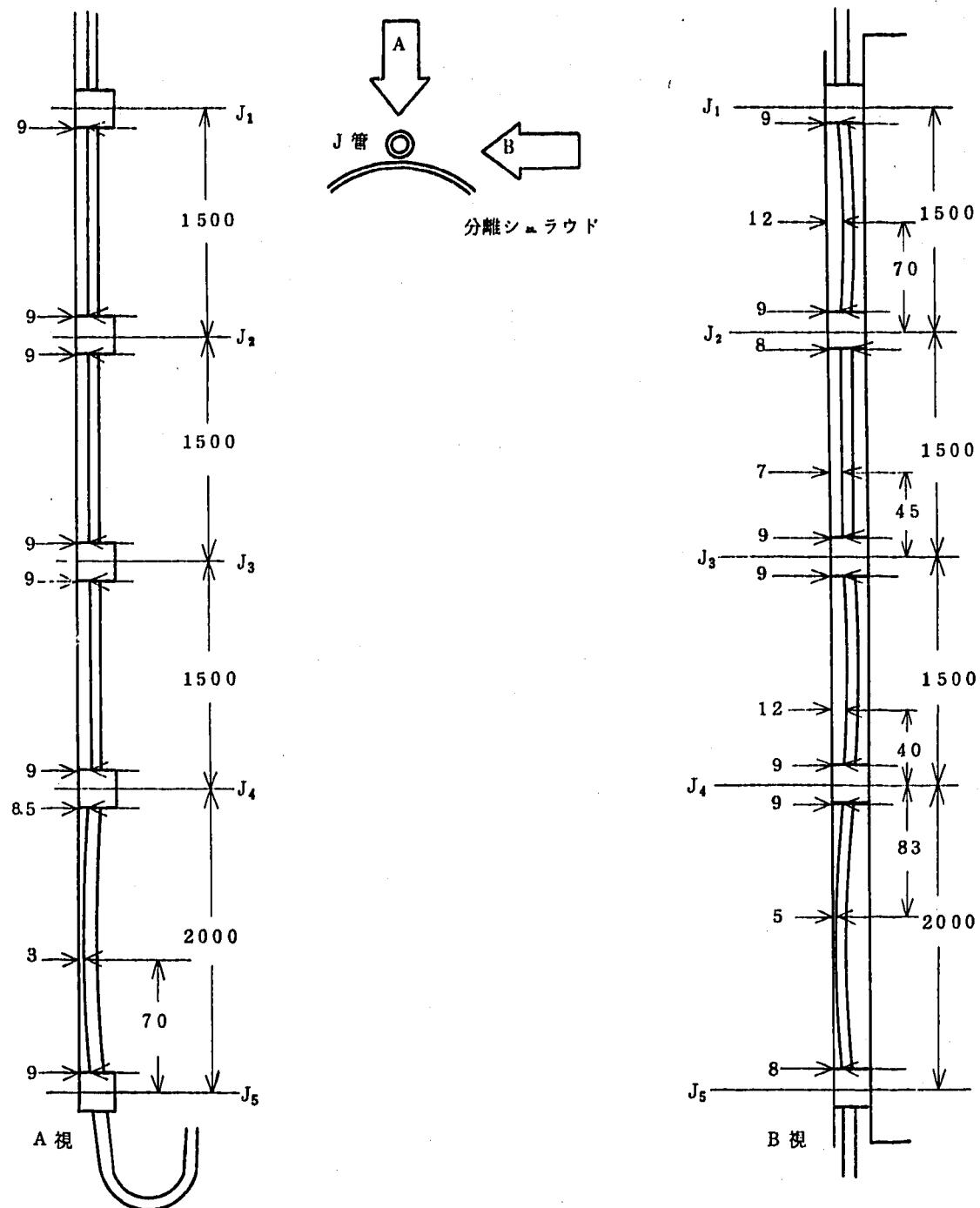


図 6.9 了管寸法検査

6.2.3 解体作業中の検査

1) 外観検査

a) 通水下降管

熱遮蔽管用のサポート部(1本につき計5カ所)はA管の上部から3つ目のサポート部以外全部のサポート部の止めねじ内部に未洗浄のナトリウムが僅かに付着していた。

6.1(1)の熱遮蔽解体後、中の通水下降管は洗浄効果が悪く全体に洗浄時の反応生成物が残留していた。A管とF管では管表面の様子が異なり、A管は白っぽくて表面が乾いていたが、F管の方は色も黄緑がかっていて表面も濡れた状態であった。

通水下降管スペーサ部(1本につき2ヶ所)の接触部分は写真6.7, 6.8, 6.9に示されているようにへこみ、かじりもみられず、スペーサと通水下降管の間は充分スライドしたものと思われる。

b) 伝熱管ヘリカルコイル部

分離シラウド解体後、伝熱管ヘリカルコイル部の観察を行なった。写真6.10でわかるように3つに色が分かれている。

1つはフランジから2,200mmまで、色は黒っぽくて、煤状の付着物(6.2.2.1))が全面に拡がっていた。この領域はカバーガス領域にナトリウムが多量に付着していたために、蒸気洗浄中に発生した反応生成物($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$)の黒色の付着物が完全にドレンしきれなかつたものと考えられる。それから下部には2,800mmまでは、製作時の材料のようにねずみ色で付着物やよごれも見られず非常にきれいであった。このことはこの領域がナトリウム浸漬部でありナトリウムのドレンが良好で残留ナトリウムも少量であったために洗浄が完全であったと思われる。最後の下部は、全体的にまだらの少し茶色がかつたよごれが見られた。これは、蒸気洗浄時に生成された高濃度の NaOH を含んだ水分がこの領域

に残留したためサビが発生し、またこれらの残留物が乾燥した結果茶色の汚れとして付着したものと思われる。

コイル部の周方向変形は図6.10のX印の4ヶ所で長手方向にストレッチを当てて、コイル部の出張りを観察した。それによると管束の中部から上部にかけてコイルの乱れが多く、特にL,

J管では9点ずつ出張りが見られた。

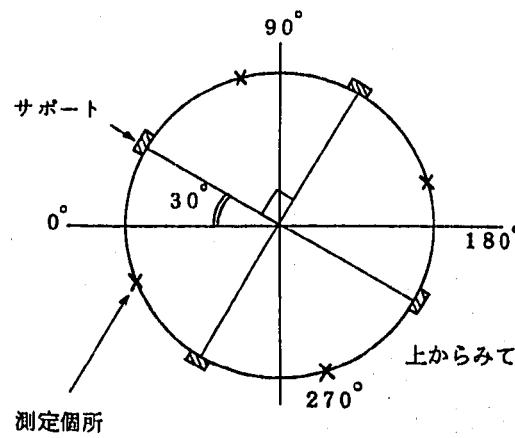


図6.10 周方向変形測定位置

通水管の場合、F管に6点見られたが、A管には出張り部は見られなかつた。なお、周方向の位置による方向性はみられなかつた。

コイルサポート部は写真6.1.1と写真6.1.2に見られるような2種類のフレッティングウェアと思われる摩耗痕が観察された。写真6.1.1の摩耗は、サポートを取外さなくとも目視あるいは手指の感触により外観上認められたもので、その発生個所は、図6.1.1に示すように丸棒との接触部（図中黒点部）に生じている。発生個所の分布を図6.1.2に示す。これらの特徴として、

- ①サポートとの接触個所（室温時）から数10mm離れた所で摩耗が発生している。
- ②ダミー管であるB、C管にそれぞれ23、30個所（両者で全体の2/3）と著しく多い。
(全く同一条件と考えられる他のダミー管6本は3~4個所程度である)
- ③通水管のウェア発生はA管で1個所、F管で4個所であり、これはダミー管と比較して少ない。（予熱沸とう領域に発生している）
- ④摩耗の形状、程度が各々まちまちであり、中にはめくれてバリが付いているようなものもあつた。

写真6.1.2は伝熱管を上から押さえているサポートを取外したときに観察された摩耗であり、写真6.1.3は伝熱管を取り外したときに内部シラウド側に観察された摩耗である。

これらの特徴として、

- ①室温時にこのサポートが直に接触している伝熱管とピッタリ一致した個所で摩耗が生じている。
- ②サポート側にも伝熱管と同一形状の摩耗が生じている。
- ③この摩耗は通水管とダミー管との区別なくほど全数生じている。
- ④摩耗の形態はほぼ線接触であり、そのため摩耗の形状は伝熱管の軸に沿って細長いが、摩耗深さは極めて浅く軽微である。

以上の目視検査の結果ダミー管に著しく多く摩耗が生じていることから、ナトリウム流動による振動が摩耗発生の原因の1つであるかもしれないという観点で、ナトリウム流動による振動について以下のような簡単な検討を試みた。

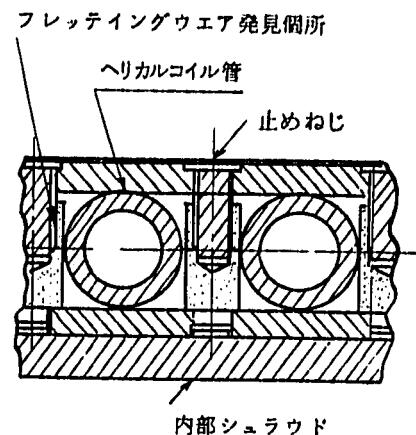


図6.1.1 サポート部断面図

(1) カルマン渦による発生周期について簡単のため単管モデルとした。(伝熱管外径 $d_o = 25.4 \text{ mm}$, ナトリウム流速 $V = 17 \text{ cm/sec}$ 動粘性係数 $\nu = 3.55 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)

$$\begin{aligned} Re &= \frac{d_o V}{\nu} \\ &= \frac{0.0254 \times 0.17}{3.55 \times 10^{-7}} \div 1.216 \times 10^4 \end{aligned}$$

この Re 値ではストローク数 S_t は約 0.21 である。従って単管モデルの場合カルマン渦の発生周波数 f は、

$$\begin{aligned} f &= \frac{S_t V}{d_o} \\ &= \frac{0.21 \times 17}{25.4} \div 1.41 (S-1) \end{aligned}$$

である。

(2) 伝熱管の固有振動数について

まっすぐな一様断面の棒の横振動として、サポート部で両端支持されているものと仮定すると、振動数 f は、

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EIg}{rA}}$$

$E = 17.6 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ (480°C), (縦弾性係数)

$I = 1.63 \text{ cm}^4$ (断面二次モーメント)

$g = 981 \text{ cm/s}^2$

$A = 2.23 \text{ cm}^2$ (断面積)

$r = 7.67 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$ (480°C), (単位体積の重さ)

$\ell = 80.5 \text{ cm/k}$ (管の相当長さ)

伝熱管が 1巻きおきに支持されていると仮定した時 $k = 1$, 半周おきに支持されていると仮定した時 $k = 2$, $\frac{1}{4}$ 周おきに支持されていると仮定した時 $k = 4$, 次数 1 次として $\lambda = \pi$ とすると、

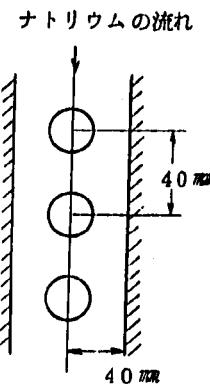
伝熱管 1 ターン 1 点支持 ($k = 1$) で固有振動数 f は $10/\text{s}$ である。

" 2 点 " ($k = 2$) $40/\text{s}$

" 4 点 " ($k = 4$) $160/\text{s}$

仮定の妥当性の問題もあるが、カルマン渦による発生振動数と伝熱管の固有振動数は可成り離れていると考えられる。

従って、



(1)写真 6.1.1 および 6.1.2 の摩耗ともナトリウムの流動により生じたものとは考え難い。

(2)写真 6.1.1 の摩耗は通水管よりもむしろダミー管に多く発生し、写真 6.1.2 の摩耗は通水管、ダミー管を問わず全数サポートと接触部に生じていることからどちらのタイプの摩耗も給水あるいは蒸気の流動が原因であるとも断定し難い。

サポートの構造は全く同一であった 1 号 1 M W S G の解体検査ではこれらの摩耗は発生していなかつたことを考慮すると摩耗の発生原因は運転状態、微妙な製作上の相違などによって、起動停止の繰り返し、運転中の負荷変動時の温度変化によって生じる伝熱管とサポート部の相対的な移動によるものと考えられるが、今後計画されている材料試験および 50 M W S G の解体検査結果とも合わせて、原因を確かめる必要がある。

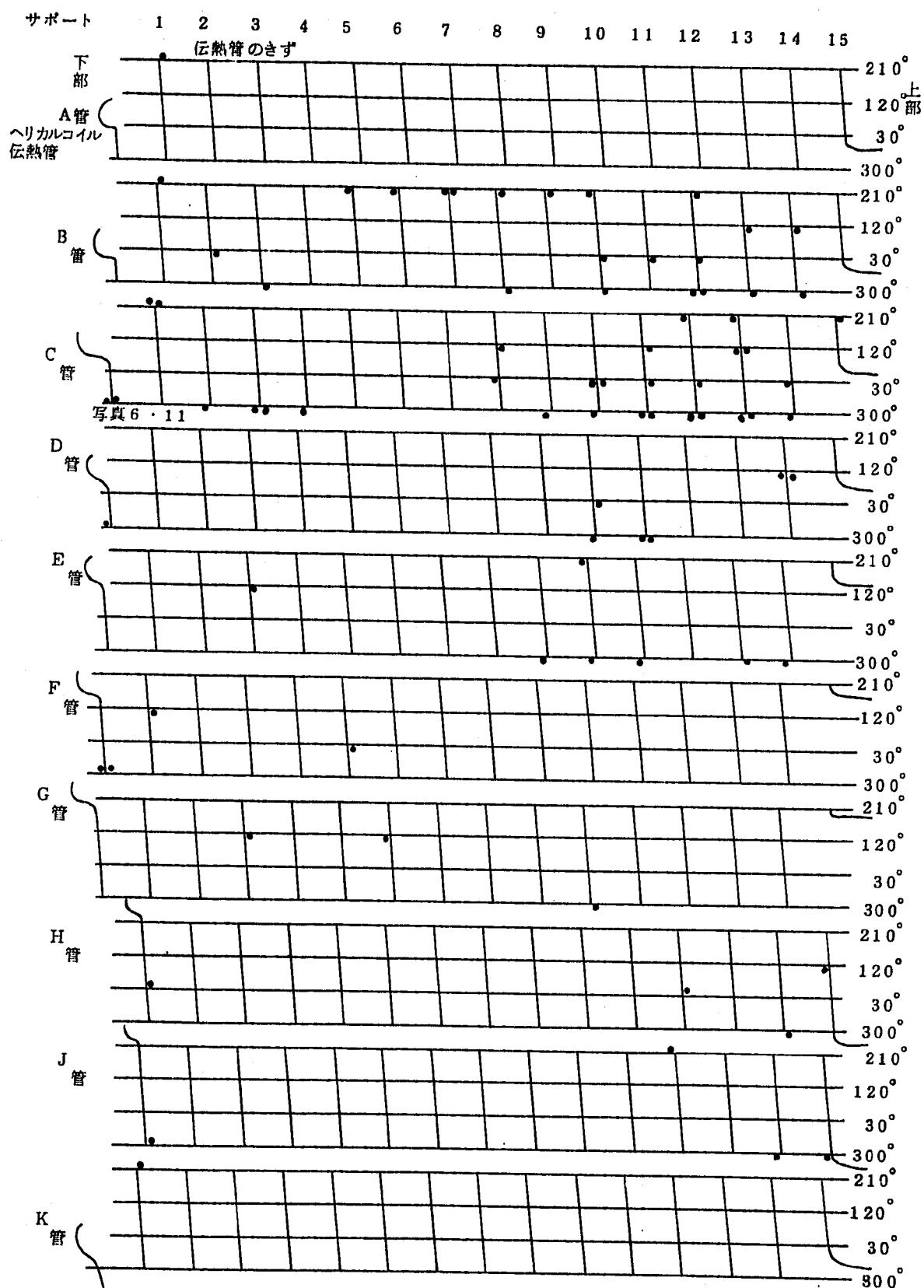


図 6.1.2 ヘリカルコイル伝熱管サポート部のきず発生状況

c) その他

分離シュラウド内面は洗浄効果も良好で、異常変形等も見られなかった。

2) 尺寸検査

a) 通水管内熱電対位置確認

通水下降管解体時、内部T/Cの位置寸法を測定し、それを表6.8にまとめた。

b) 伝熱管ヘリカルコイルのピッチ測定

図6.14, 6.15, は図6.13に示す①②③④の個所で測定したヘリカルコイル間のピッチを示す。写真6.14に示したように一部に目視でわかる程のピッチのみだれが見られた。サポート部の構造が図6.11あるいは写真6.14に見られるように、丸棒で伝熱管をはさむ構造となつてゐるため、可成りフレキシビリティがある。従つて、起動停止とか運転中の負荷変動時の温度変化時に各部が同一の割合で伸縮すればよいが、そうでない場合には相互に熱応力が発生して変形しやすい個所、特に伝熱管などが変形して、常温に戻つても必ずしも完全に変形が元に戻らずそのままになつてゐるものと思われる。

c) ナトリウム配管ダウンカマーの変形測定

図6.16, 6.17および表6.9にナトリウム流出孔の位置と下端部変形測定の結果をまとめた。ナトリウム配管ダウンカマーは34φで上部鏡から約1.7mサポートなしで下降しているため可成り変位している。また、ナトリウム配管ダウンカマー先端の変位によって、流出孔がさらに捩れた方向を向いていた。

このような比較的細い管を長く挿入することはサポート等を使用しないと可成り変形するものであることに注意すべきである。この変形は1号1MWSGの解体時においてもみられており、原因としては前回と同様熱膨張時の拘束等はない所なので、製作、取付等の残留歪がなまし効果によって解放されたものか、高温ナトリウムの流れによるものと考えられる。

表6.8 通水管T/C寸法測定

(単位 mm)

		フランジ面からの距離	
		T E 4 - 3.4	T E 4 - 1.2
A 管	(1 1 2 0)	(7 4 7 0)	
	1,080	7253	
F 管	T E 4 - 7.8	T E 4 - 5.6	
	(1 1 2 0)	(7 4 7 0)	
	1,072	7,342	

註] ()は予想値

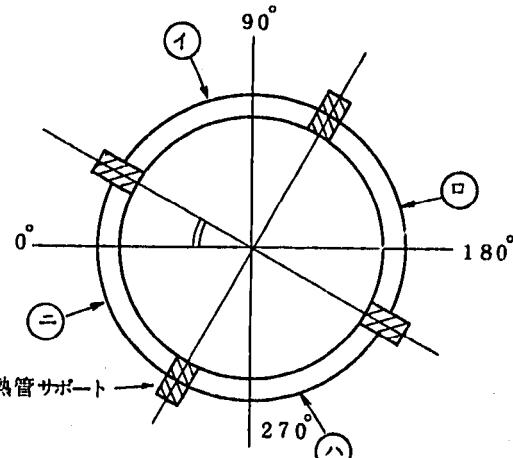


図6.13 コイルピッチ測定位置

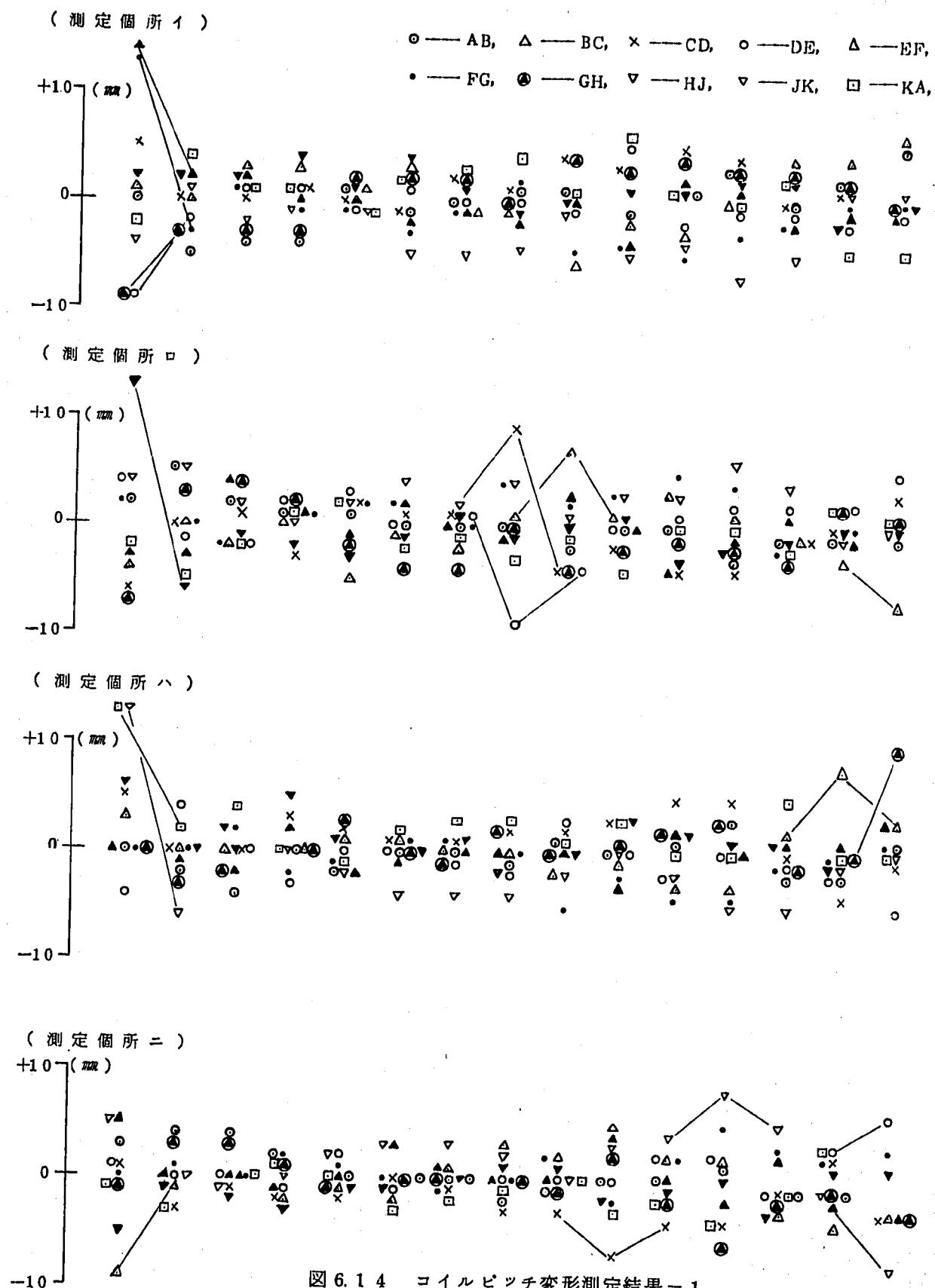


図 6.1.4 コイルピッチ変形測定結果 - 1

(標準ピッチ 40 mm)

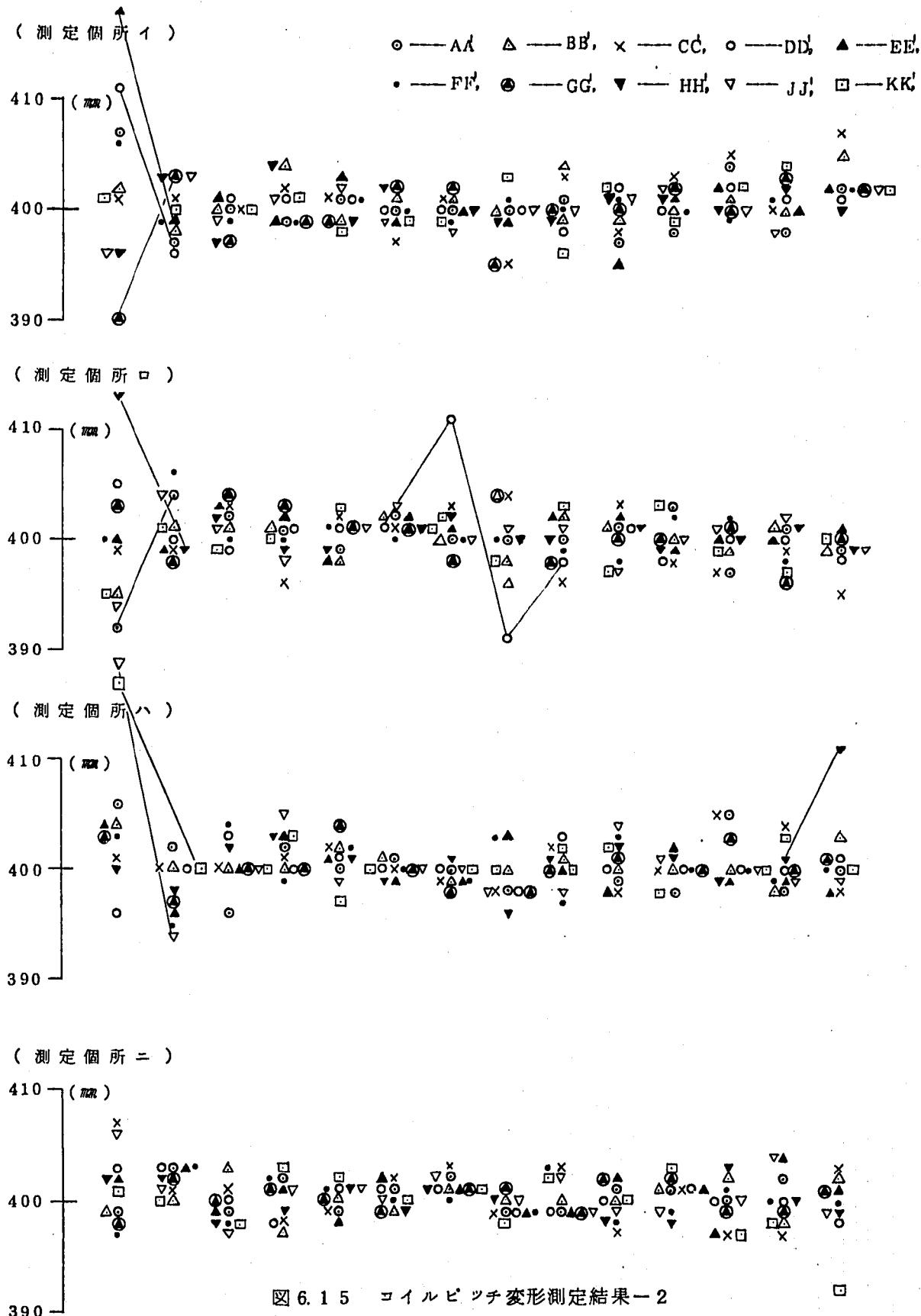


図 6.1.5 コイルピッチ変形測定結果-2

(標準ピッチ 400mm)

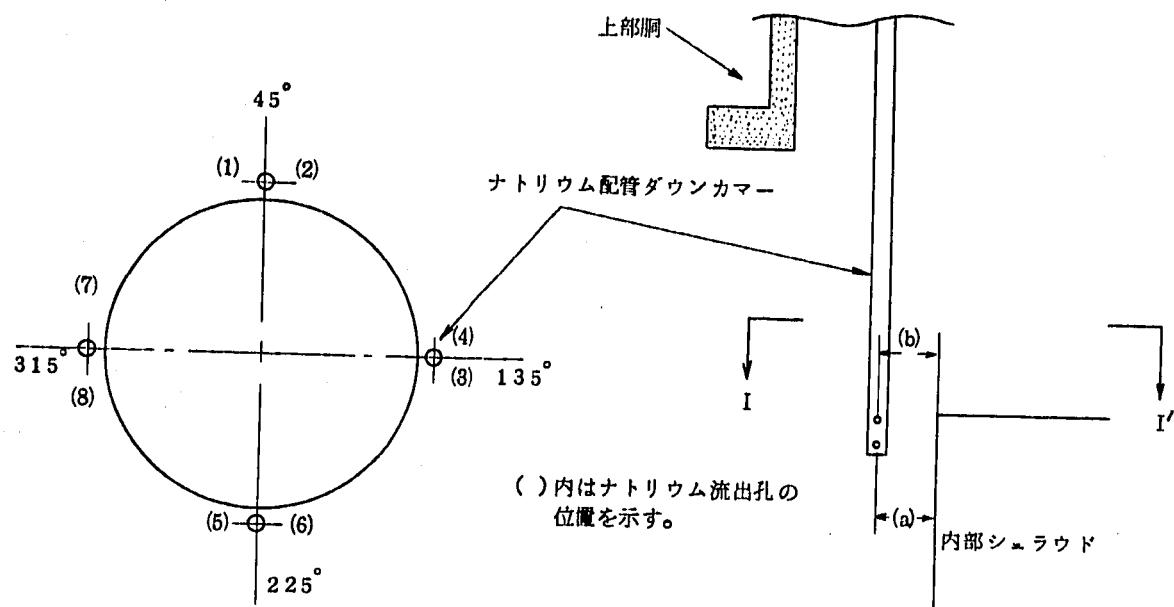


図 6.1.6 ナトリウム配管ダウンカマーのナトリウム流出孔の位置

表 6.9 ナトリウム配管ダウンカマーのナトリウム流出孔の変形測定

(単位 mm)

ダウントンカマー管位置		45°		135°		225°		315°									
ナトリウム流入孔位置 (図 6.1.6 参照)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)								
ナトリウム流出孔 の位置	運転前の記録 (S47.12.25)	28	29	22	22	26	25	33	33	235	24	26	26	26.5	25	32.5	32
ナトリウム流出孔 の位置	解体時の測定値	21	19.5	11	13	22	23	32	33	22	23	29	30	16	16	20	20
ナトリウム流出孔 の傾れ角度 (+ : 時計回り) (- : 反時計回り)	運転前	+ 22.5°				+ 26.2°				+ 7.6°				+ 22.5°			
	解体時	+ 29.0°				+ 36.0°				+ 24.3°				+ 13.6°			
運転による傾れ変形	+ 6.5°		+ 9.8°		+ 16.7°		- 8.9°										

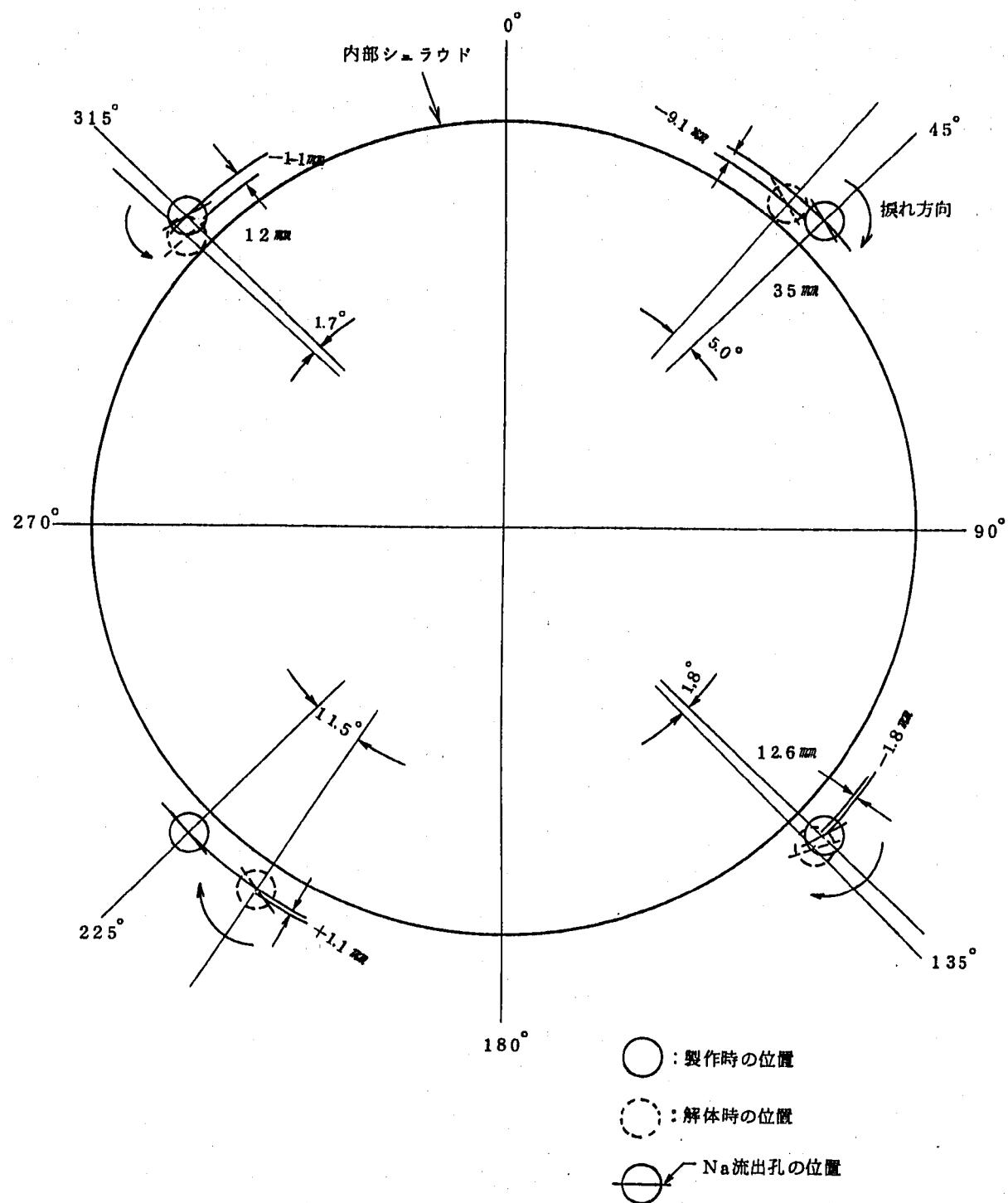


図 6.17 ナトリウムディストリビュータの変形

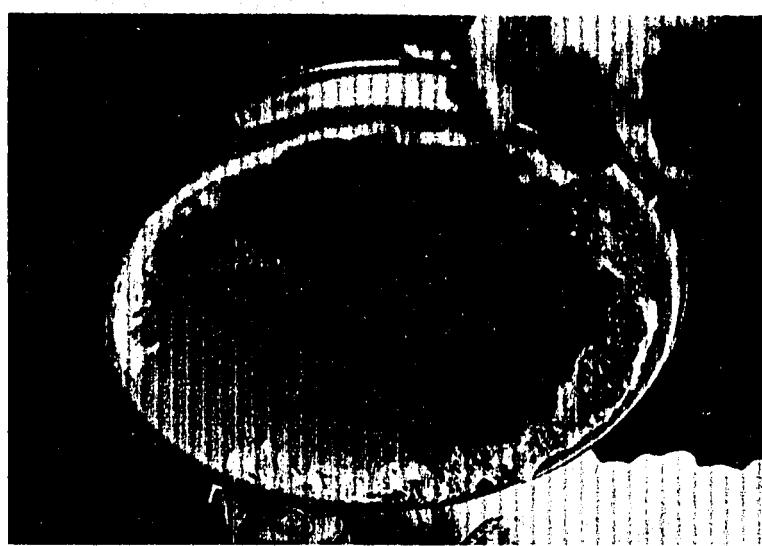


写真 6.1 真空サポート板ナトリウム付着状況

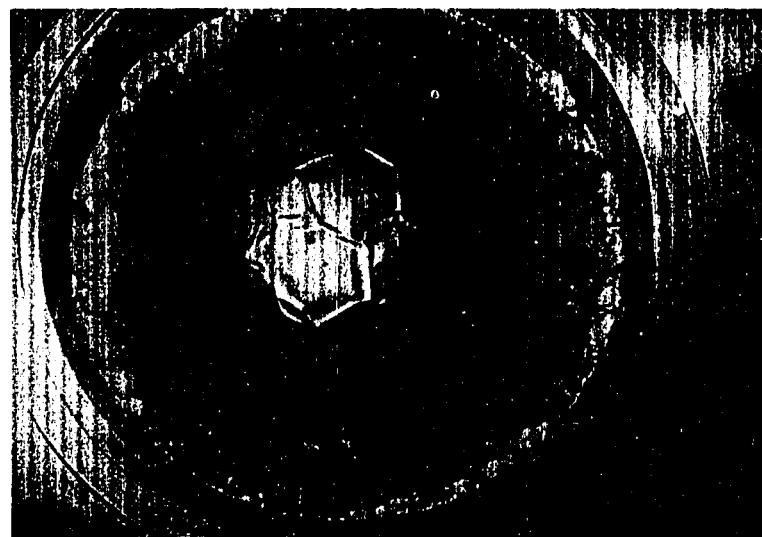


写真 6.2 ラブチャーディスク上側ナトリウム付着状況

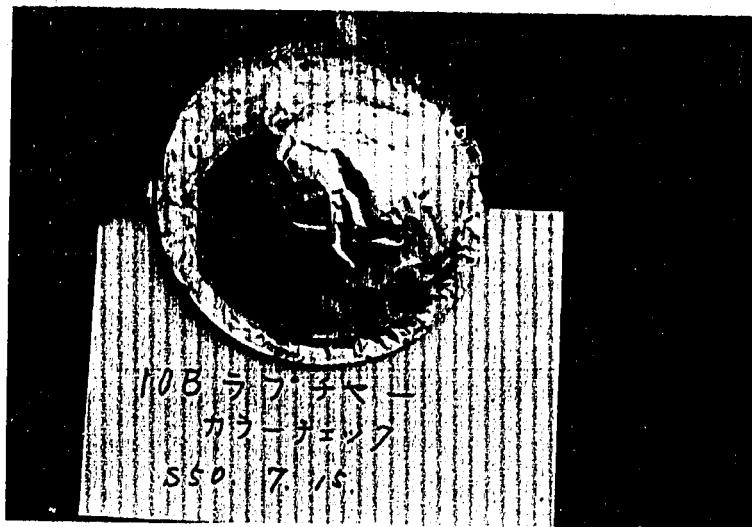


写真 6.3 ラブチャーディスクカラーチェック

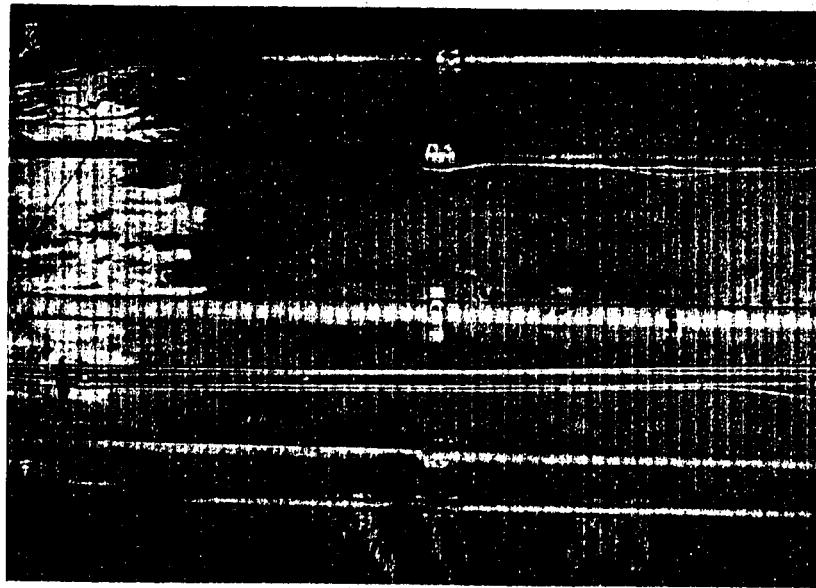


写真 6.4 分離シユラウド外面の付着物（洗浄後）



写真 6.5 分離シユラウド下部止メボルトクラック

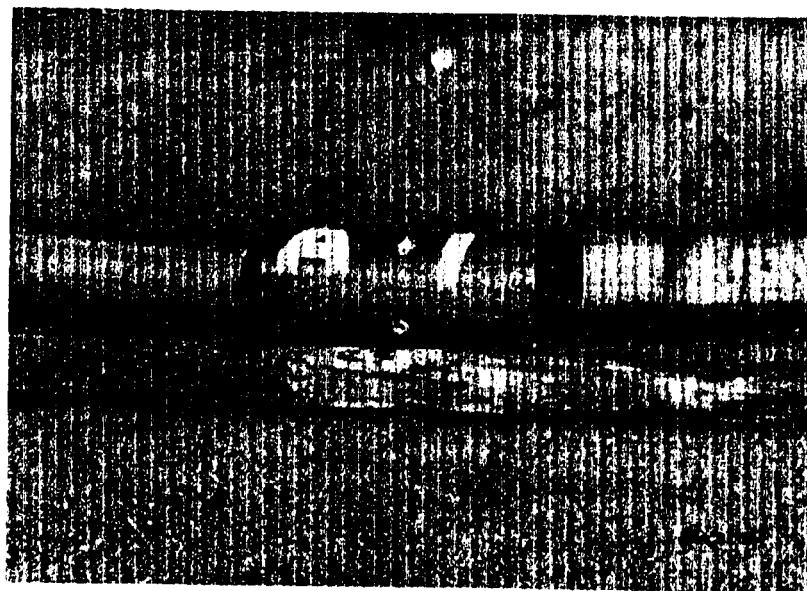


写真 6.6 通水下降 A 管上部スペーサ状況

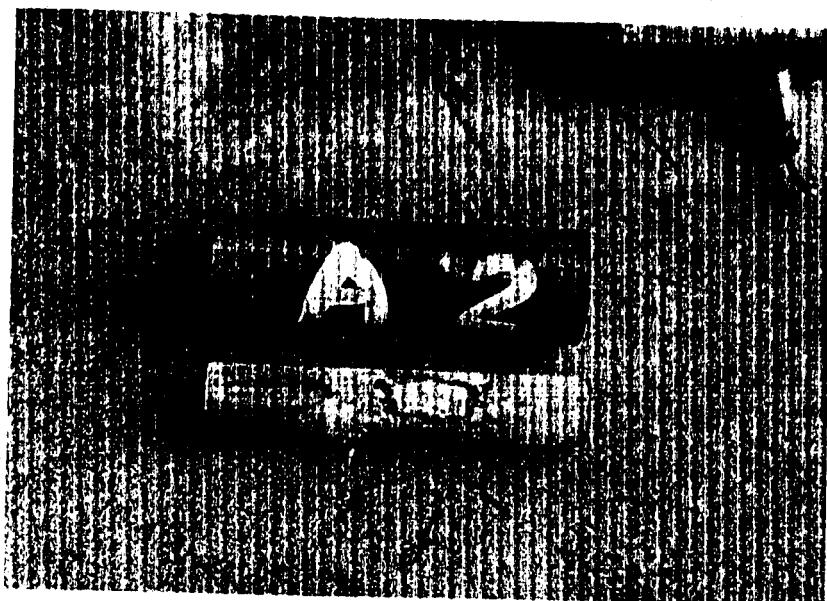


写真 6.7 通水下降 A 管下部スペーサ状況

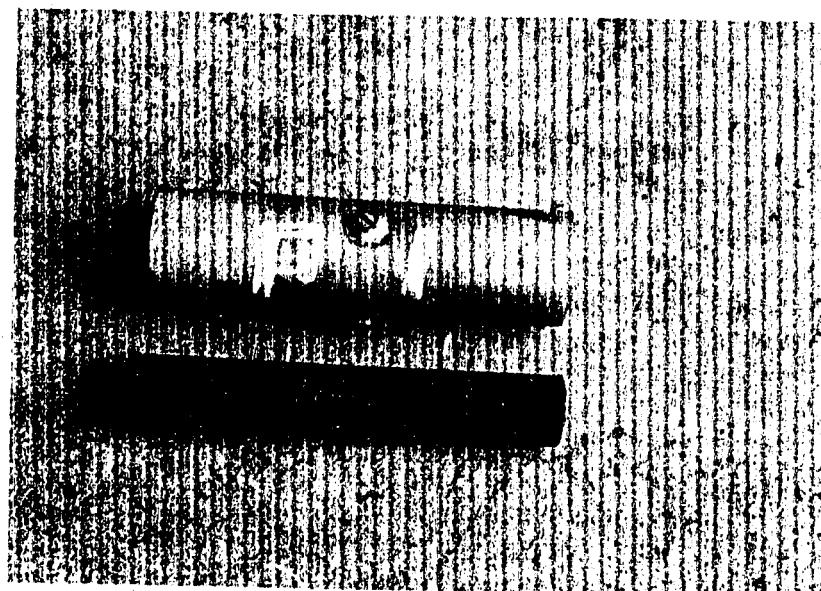


写真 6.8 通水下降 F 管上部スペーサ状況



写真 6.9 通水下降 F 管下部スペーサ状況

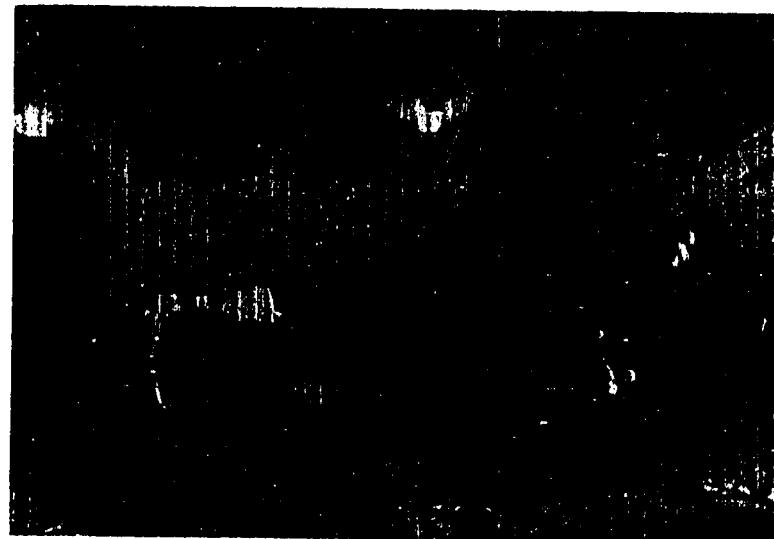


写真 6.10 ヘリカルコイル部外観

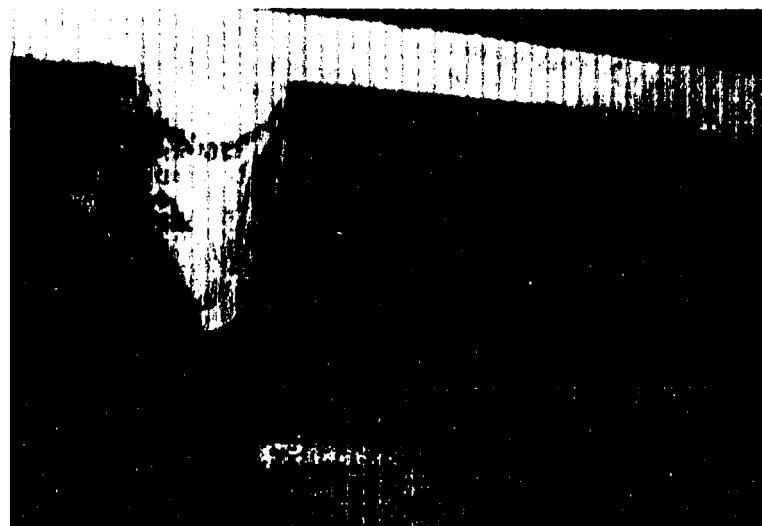


写真 6.1.1 コイルサポート部フレッティングウェア(1)



写真 6.1.2 コイルサポート部フレッティングウェア(2)

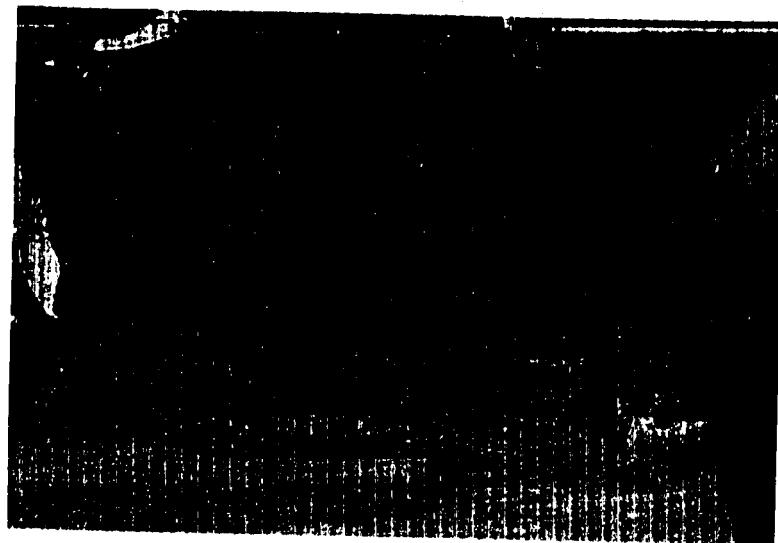


写真 6.1.3 管を取り除いた後のサポート部



写真 6.1.4 沸騰域近くで見られた
コイル部ピッチの乱れ

7 結 言

I M W S G は 1 9 7 1 年 1 0 月 より 1 9 7 5 年 6 月 まで 延 9 8 0 0 時 間 にわたる 運 転 が 行 わ れ た。 そ の 後 本 体 の 水 蒸 気 洗 浄 の 上 構 造 及 び 材 料 検 査 の た め 解 体 が 行 わ れ た。

こ れ ら の 諸 経 験 か ら 要 点 を 上 げ る と 次 の 事 が 言 え よ う。

- 1) 1 号 5 0 M W S G の 解 体 洗 浄 に 引 き 続 き、 同 様 の 手 法 で ア ル ゴ ン と 水 蒸 気 の 混 合 気 に よ る S G の 洗 浄 が 安 全 に 行 え る こ と が 実 証 さ れ た。

し か し、 材 料 へ の 影 韻 に つ い て は 明 ら か に さ れ な か つ た。

- 2) 下 降 管 お よ び U ペ ン ド 部 に 熱 膨 張 が 原 因 と 思 わ れ る 変 形 が 認 め ら れ た。
- 3) 伝 热 管 コイル サ ポ ー ト 部 に 熱 膨 張 が 原 因 と 思 わ れ る 摩 耗 痕 が 認 め ら れ た。

8 参 考 文 献

- 1) 山田他： 1 MW蒸気発生器試験施設運転記録
N952 74-07 1974年 7月
- 2) 保田他： 1 MW蒸気発生器試験施設
第2次1 MW蒸気発生器運転報告書(Ⅰ)
SN941 74-47 1974年 8月
- 3) 土屋他： 1 MW蒸気発生器試験報告書(Ⅱ)
静特性試験結果最終報告
SN941 73-53 1973年 9月
- 4) 金森他： 1 MW蒸気発生器解体洗浄工事報告書
SN941 74-24 1974年 5月
- 5) 八木沢他： 50 MW蒸気発生器解体洗浄工事報告書
SN941 75-57 1975年 7月
- 6) SJ256 75-01, エンリコフェルミ原子力発電所器材の調査研究
-蒸気発生器- 1975年 2月
財団法人 電力中央研究所
- 7) 八木沢他： 1 MW(第2次)蒸気発生器における伝熱管水リーク報告書
ZN941 76-54 1976年 6月
- 8) SJ299 76-10: 1 MW SG構造材料試験
1976年12月 (株) 日立製作所