

50 M W蒸気発生器解体洗浄工事

報 告 書

1975年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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)

1975年 7月

50 MW蒸気発生器解体洗浄工事

報告書

報告者 八木沢秀治 鹿志村洋一
白石良二 佐藤聰
山田栄吉 阿部明男
金森昭士

期 間 1975年4月1日～1975年5月31日

目 的 50 MW蒸気発生器1号機の解体、洗浄を行なって得られた経験を取纏め報告し、関係各位の参考に供する。

要旨

50 MW蒸気発生器1号機はナトリウム浸漬時間で4200時間の運転を行ない昭和50年3月27日をもってすべての試験を終了した。この蒸気発生器は構造上および材料上の問題を解明するため、諸検査を行なうことになっているが、それに先立ち解体洗浄工事を実施した。解体洗浄は初めての試みとして、蒸気発生器本体を据付状態にてループ施設より隔離し、その本体シェルを洗浄槽として水蒸気とアルゴンガスの混合気によりナトリウムの洗浄を行なった。その結果は極めて順調であり、計画通り作業を進めることができた。

本報はそれらの貴重な経験を集約し、今後の大型ナトリウム機器の洗浄に役立てられるよう取纏めた。その結果、本法は大型ナトリウムに機器の洗浄法として有効な手段の一つであるとの確証を得た。

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 蒸気発生器の構造および解体洗浄上の問題点	3
2.1 系統構成	3
2.2 蒸気発生器の構造	5
2.3 解体洗浄方法の決定	5
第3章 洗浄装置およびその方法	19
3.1 洗浄装置	19
3.2 洗浄方法	26
第4章 解体工程およびその工事状況	28
4.1 解体洗浄手順	28
4.2 工 程	30
4.3 解体工事状況	31
第5章 洗浄作業	41
5.1 過熱器の洗浄	41
5.2 蒸発器の洗浄	45
第6章 解体洗浄結果の考察	51
6.1 配管切断時の空気混入	51
6.2 潽解液に対する考察	53
6.3 S G 本体フランジ（リップ溶接部）へのNa 侵入	58
6.4 アルゴンガス消費量	65
6.5 炭酸ガスによる洗浄効果	65
第7章 結 言	68
第8章 文 献	70

第1章 緒 言

ナトリウム加熱蒸気発生器（以下SGと称する）は昭和49年6月末の検収以来伝熱、流動に関する静特性、動特性など各種性能試験を行なった^{1)～11)}。予定されていたすべての試験は昭和50年3月末をもって終了し、その間の運転積算時間はナトリウム（以下Naと略す）の浸漬時間で4200時間、過熱器通気時間1100時間、蒸発器通水時間3400時間になった。

このSGは水側不安定に対する対策および高温Naによる鋼材の脱炭上の考慮から過熱器(SH)、蒸発器(EV)の分離型で構成され、SHはステンレス鋼(SUS-304)、EVは水側に対して耐食性に秀れた $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼で製作されている。

前述のようにSG1号機は性能試験に関する使命を終了し、SG2号機の試験計画のため、撤去されることになり、あわせて内部構造物の健全性確認やその後の材料試験のため解体されることになった。

SG2号機の建設は6月より据付工事が行なわれることになっており、SG撤去、洗浄は2ヶ月程度の短期間で行なわれる必要があった。これまでにもSGの洗浄経験は1MW SGにおいて、管束引抜き後、大気中にてスチーム洗浄したことがあるが¹²⁾、さらに大型のSGを同一方法にて行なうことは、次のような点で困難であると考えられた。

- (1) 大型でかつ重量物であること。
- (2) 伝熱管が多層になっており、内側の付着状況によっては水、蒸気洗浄が危険と考えられること。
- (3) カバーガス層におけるNa付着が比較的多いと考えられたこと。

さらに、安全性、経済性および洗浄後に予定されている材料試験への影響等をできるだけ最少限にとどめるような方法を構ずることが望まれた。

それゆえ、大洗工学センタ内各施設における各種洗浄方法¹³⁾や電中研にて取纏め報告しているフェルミSGの洗浄法¹⁴⁾さらに各国における洗浄実績¹⁵⁾等を調査、検討し、50MW SGとして最も適した洗浄法を見い出そうと努力が払われた。その結果、初めての試みであったが、SG本体を架台据付状態にて、ループ系より切離し、本体外胴（シェル）を洗浄槽として、スチームとアルゴンの混合気にて洗浄するのが最もよい方法であるとの結論に達した。

本報は以上のようにSG構造上の問題、洗浄法の決定さらにSG本体のループよりの隔離、洗浄、撤去などの一連の作業について纏めたものである。

解体洗浄は4月1日より5月12日の約40日間にSH、EVの順でSHの隔離、洗浄が終ってから、EV配管切断、洗浄装置の据付洗浄という順序で行なわれた。洗浄中はSG内部の水素濃度を2%以下に抑えるべく、蒸気流量とアルゴン量が制御された。

本SGは洗浄後、解体検査および材料検査が行なわれることになっているが、これらの結果

により再使用上の問題やアルカリ腐食等の問題も明らかにされるものと考えられる。さらに材料に関しては 1 MWSG が約 1 万時間 (Na 温度 450 °C 以上では 6000 時間) の運転を終え 7 月に 50 MWSG と同じ方法で解体洗浄されることになっている。この SG は 2 回の水リーグ事故を経験したもので、材料上の貴重な知識を与えてくれるものと考える。

本報は前述のように再使用上や材料上などの問題として、今後、解明しなければならない問題を多く残しているが、常陽、もんじゅなどの大型 Na 機器類の洗浄についての 1 つの有効な手段であることを認識し、それらの参考に供するとともに今後に続く構造検査、材料試験の評価上の問題があるので、洗浄の手法経過、それらに対する評価も含めて取纏めたものである。

第2章 蒸気発生器の構造および解体洗蒸上の問題点

2.1 系統構成

図1に蒸気発生器廻りの主な系統図を示す。配管系は主に次の6系統により大別されており、おのおの、その設計諸条件が設定されている。

1) Na系

Na系は、材質SUS304の12^B主配管および中小口径のドレン、オーバーフロー、汲み上げ管、およびカバーガス配管等より構成され、すべての配管には予熱用のシーズヒーターが設置されている。本系統はまたNa浸漬部とアルゴンガスのカバーガス部に分かれしており、カバーガス部には、補助機器としてベーパートラップが設置されている。

NaはまずSH入口のリングヘッダーより流入し、蒸気との熱交換を行ない、SH下部よりさらにUターンしてEV入口リングヘッダーに流入、水と熱交換する方法で、循環ラインを形成している。

2) 水／蒸気系

水／蒸気系は、主として材質STPA24の6^B主配管および小口径の付属配管および補助機器としてドラム（気水分離ドラム）、減温器より構成されている。

水はまず、EV内にて、Naにより過熱蒸気まで加熱された後ドラム内にて同伴液滴を分離、減温器を経てSHに流入する。さらにSH内にて、Naとの熱交換を行ない、過熱蒸気として流出する循環ラインを形成している。

3) 水漏洩検出系

Na中水素濃度測定用の系統であり、SUS304の小口径配管、加熱器、エコノマイザー等より構成され、また、計測機器、その付属品として、ニッケル拡散膜、イオンポンプ、ソープションポンプおよび質量分析計が設置されている。

4) 放出系

SG内におけるNa-水反応事故時の反応生成物の放出系でありラプチャーディスク、サイクロンセパレーターおよび、STPT42の大口径配管より構成されている。

5) アルゴンガス系

Naのカバーガスおよび、SHの液位制御用のガス供給系であり、小口径STPG38配管より構成されている。

6) 窒素ガス系

水／蒸気系配管および、放出系配管への封入ガス供給系であり、小口径STPG38配管より構成されている。

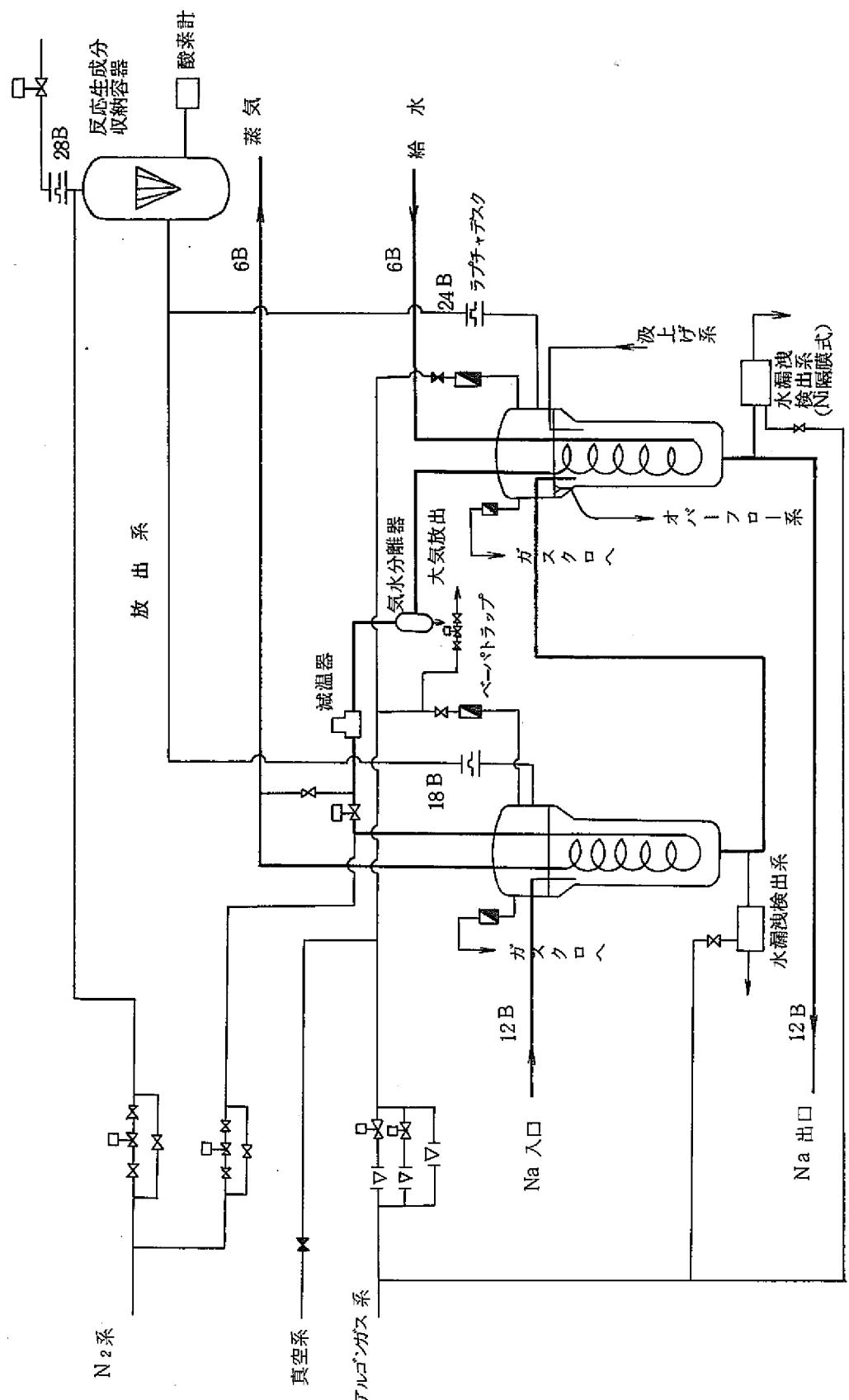


図1 SG廻りの主な系統図

2.2 蒸気発生器 (SG) の構造

SG は SH と EV からなる分離型のもので両者共にヘリカルコイル型のものである。

表 1 に EV と SH の設計仕様を図 2 と 3 にそれぞれの構造図を示す。

EV と SH の構造上の差は、SH の Na 液位制御方式がガス圧制御方式であるのに対し、EV がオーバーフロー型制御のため、EV 側にオーバーフローノズルおよび汲み上げノズルが付属しているのみであり基本的には、ほとんど同一の構成である。Na は SG 最上部のリングヘッダーより、6 本の分配管に分流し、ヘリカルコイル伝熱部に流入し、水／蒸気との熱交換を行ない胴下部のノズルより流出する一方水／蒸気は同じく SG 上部のリングヘッダーにより、各伝熱管ごとに鏡板をスリーブを介して貫通して SG 内部に入り、ダウンカマ部を垂直に降下し、最下端部で U ターンし、ヘリカルコイル状の伝熱面を構成しながら最後に上部鏡部の管板部に集合、取り出される。また胴中心部は円筒（内部シコラウド）状となっており、常時は Na が停滞し、Na - 水反応事故時にはラップチャーディスクと共に反応生成物の放出通路をも兼ねている。その他洗浄、解体を考慮する上で本体フランジ部のリップシールおよび分離シコラウド（熱遮蔽板）の詳細構造を図 4、5 に示す。

この様に SG は非常に複雑な構造を持っているため Na のドレン終了後もクレビス特に上記のリップシール部、分離シコラウド部にはかなりの Na が残留していると思われる。さらに SG 上部のアルゴンガスカバーガス空間にも多量の Na が蒸着していることが予想される。

2.3 解体洗浄方法の決定

50 MW SG および設備の解体中および解体後の試験検査項目として、次のものが予定されている。

- (a) 外観寸法検査
- (b) 材料検査
- (c) 水流動試験

さらに昭和 50 年 6 月より SG 2 号機設備の建設が開始されるが、2 号機の建設に際しては、現在設置されて 1 号機設備の計器、配管、配管付属品及び架台等の諸設備を再使用する予定であり、このため 1 号機の解体洗浄は昭和 50 年 4 月 1 日～5 月 31 日の 2 ヶ月間で、すべての計画を終了させる様に立案しなければならなかつた。特に SG は今後の試験、検査の対象物としてこの工事期間中に洗浄を終了させる必要があつた。

Na 機器類の洗浄は、対象物の使用状態、寸法、形状および使用目的により多くの洗浄方法が考案され、また実施されている。

50 MW SG の洗浄について多くの洗浄方法の中からその目的に当つた最も適切なものを選択、実施する必要があるが、この様な大型機器の洗浄経験は少なく、また洗浄操作上の定

表 1. 50 MW 蒸気発生器設計仕様

項目		単位	蒸発器	過熱器
機 器 仕 様	定格運転出力	MWt	40.1	9.9
	基数	-	1	1
	構造	-	ヘリカルコイル	ヘリカルコイル
	管束流体	-	純水	蒸気
	胴側流体	-	ナトリウム	ナトリウム
	設計温度	°C	505	505
	設計圧力	atg	10	10
	伝熱面積	m ²	186	100
	水／蒸気側圧力損失	Kg/cm ²	2.8	8.0
	ナトリウム側圧力損失	Kg/cm ²	-0.43	-0.25
	内部シコラウド外径	mm	765	765
	内部シコラウド内径	mm	741	741
	ヘリカルコイル最内径	mm	805	805
	ヘリカルコイル最外径	mm	1205	1125
	全長(シコラウド側)	mm	10800	9400
	胴	-	SA387GrD	SUS304HP
	伝熱管	-	STBA24	SUS304HTB
	伝熱管本数	-	75	60
	伝熱管外径	mm	25.4	25.4
	伝熱管厚さ	mm	3.2	3.2
	コイル層数	-	6	5
	伝熱管全長(コイル部)	mm	27.0	18.2
	軸方向ピッチ	mm	40	40
	半径方向ピッチ	mm	40	40
計 画 要 目	水／蒸気入口温度	°C	240	365
	水／蒸気出口温度	°C	367	487
	水／蒸気出口圧力	atg	143	132
	水／蒸気流量	T/Hr	79.6	79.6
	ナトリウム入口温度	°C	469.6	505
	ナトリウム出口温度	°C	327.6	469.6
	ナトリウム流量	T/Hr	794.8	794.8

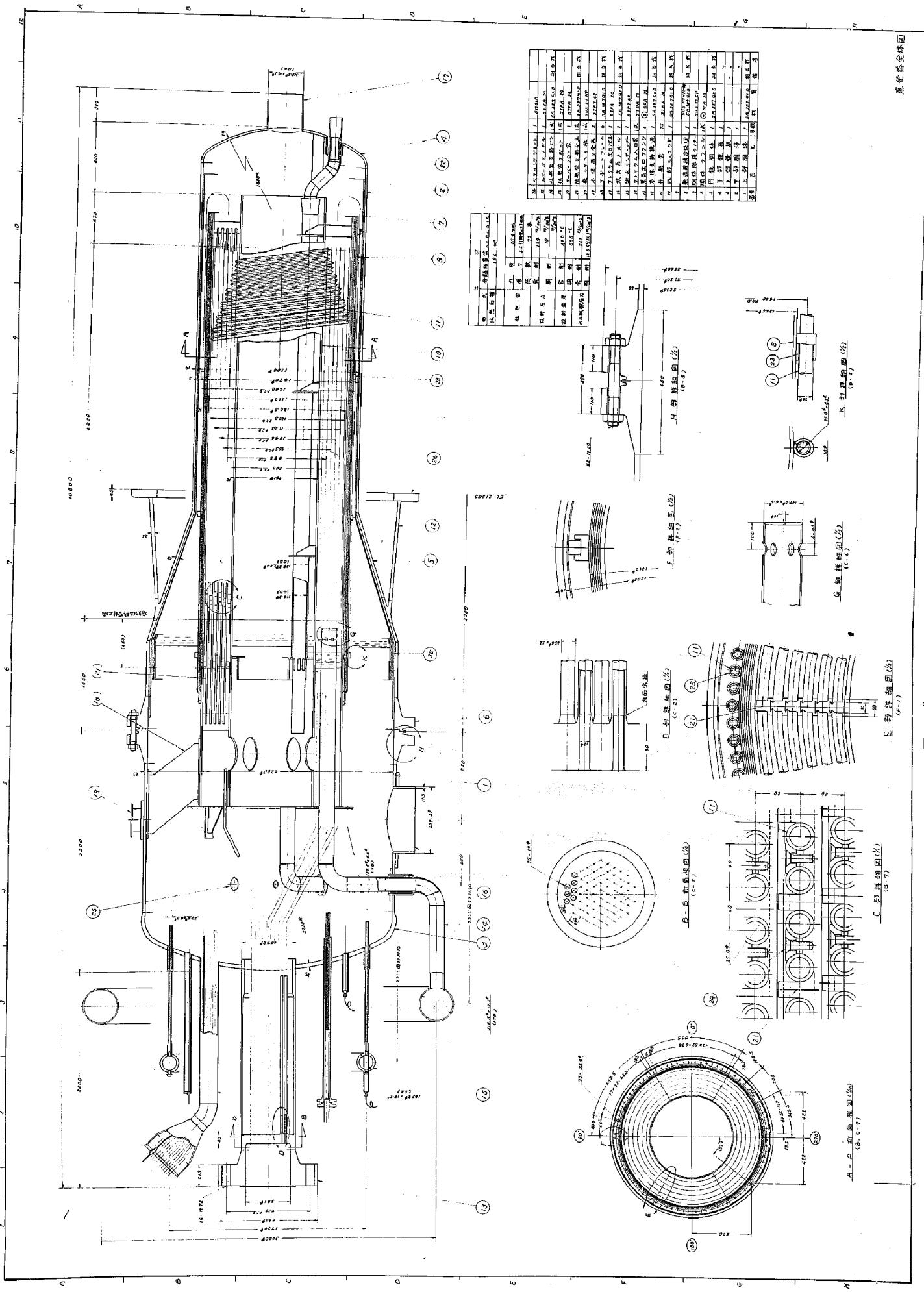


図 2 蒸発器全体図 (その 1)

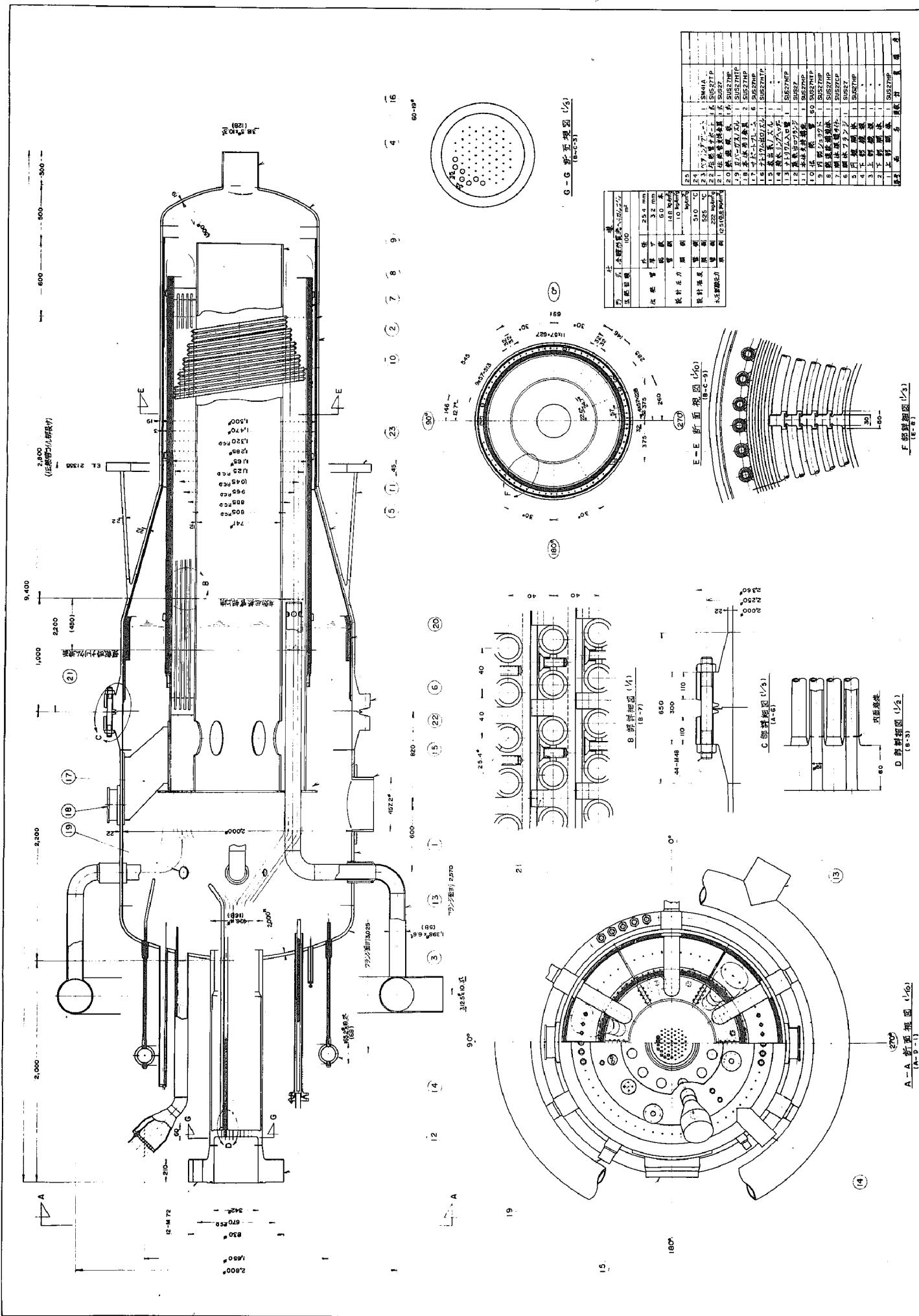
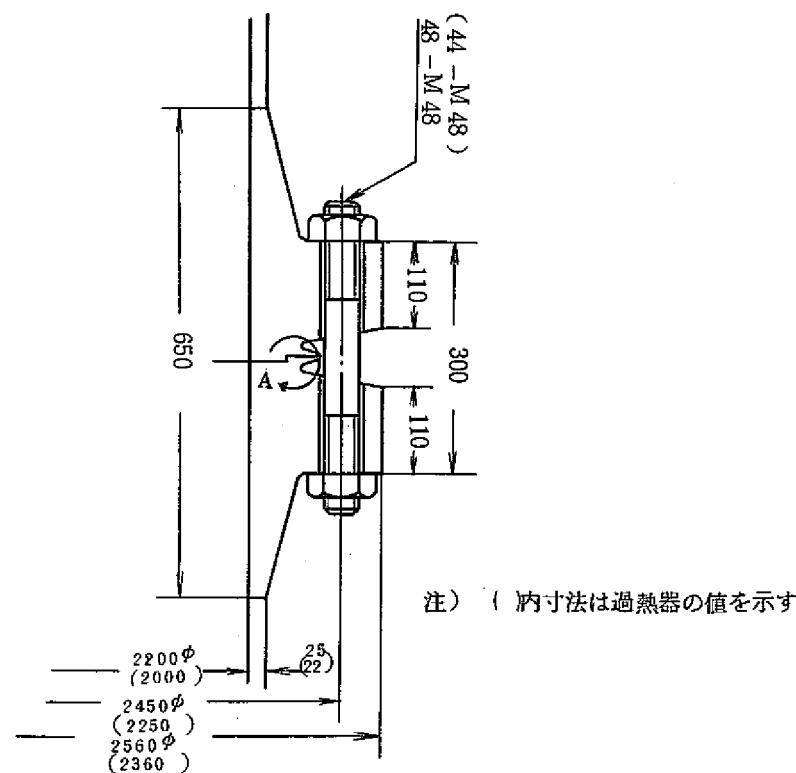
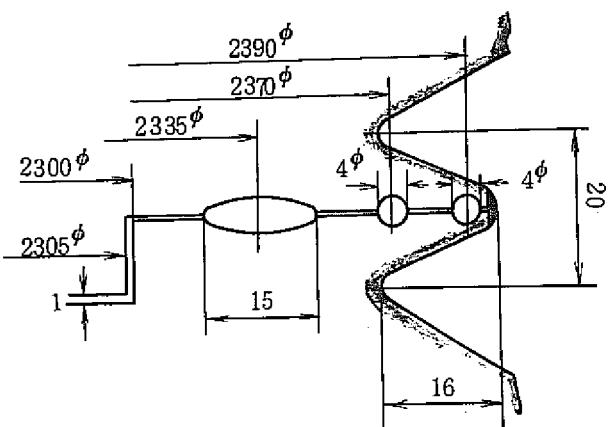


図3 発送器全体図(モノ)



蒸発器 A 部詳細



過熱器 A 部詳細

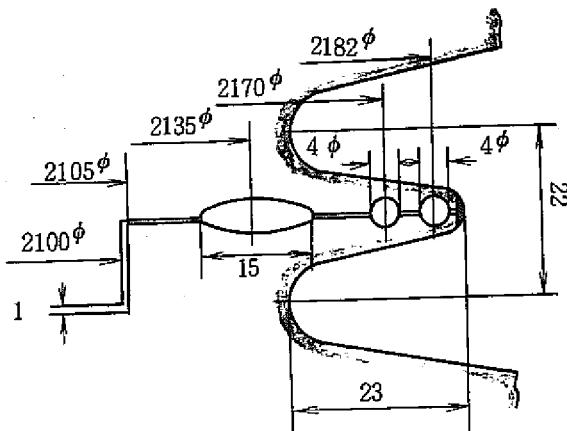


図 4 SG 本体法兰ジ(リップ部) 詳細図

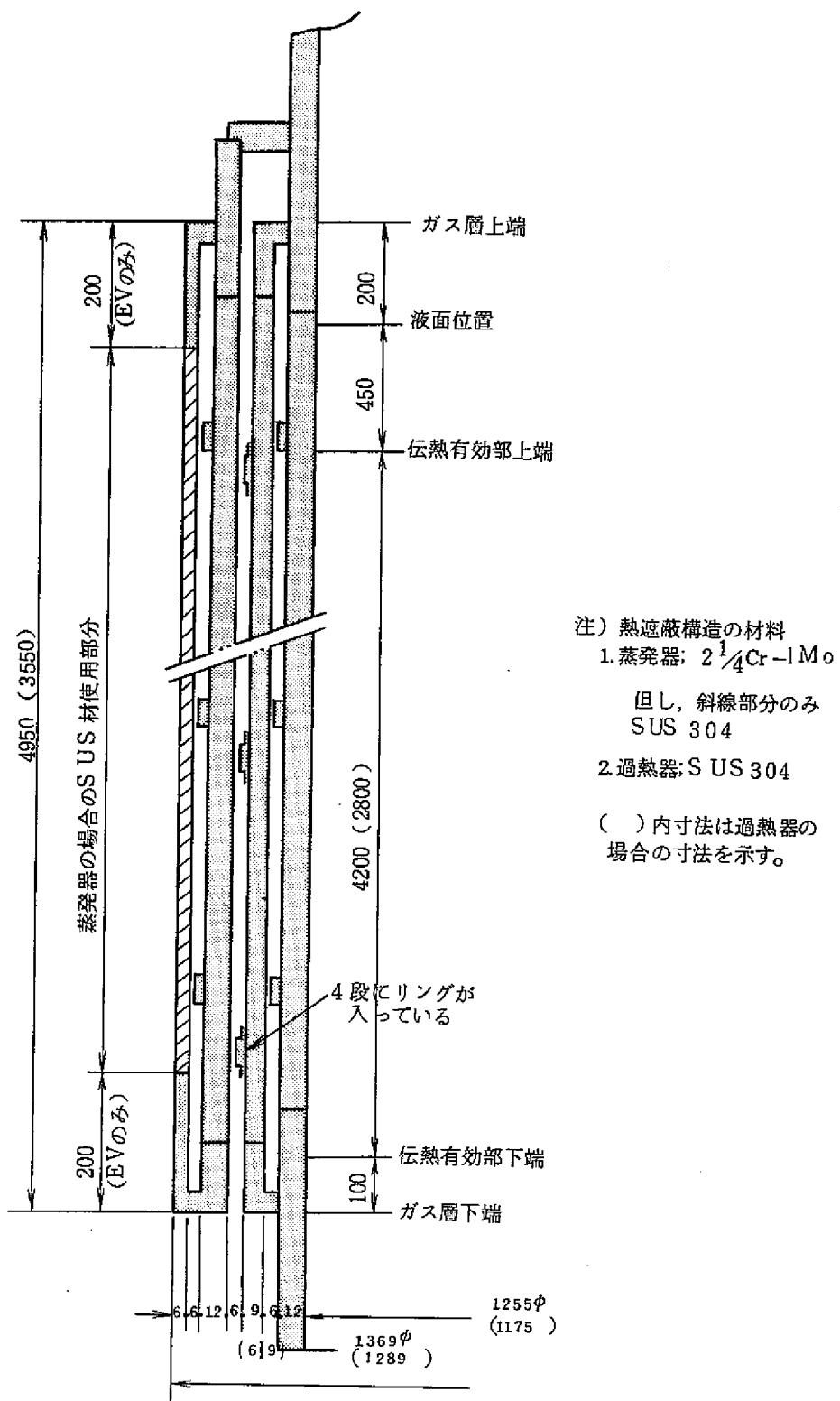


図 5. ガス層熱遮蔽構造概略図

性的、定量的データも少ない。このためSGの洗浄においては、将来大型Na機器類の洗浄方法を確立する上での主要な位置を占めるため可能な限り定量的データを採取できるように計画しなければならない。

本節ではSG洗浄方法の選択、配管その他の構造物の解体方法決定までの経過について述べる。

1) SG洗浄方法の選択

表2は、種々のNa洗浄方法とその短所、長所および、適応例について示したもの^{13,16)}であり、当工学センターにおいて多くの洗浄方法が実施されている。これらの中から、本洗浄計画に適切な手法を選択する上での必要事項、特徴を上げると次の通りである。

(a) 洗浄方法に対する要求

- I) 安全である事
- II) 短期間で洗浄を終了させる事
- III) 低コストである事
- IV) その後の解体検査及び材料検査に与える影響が小さい事

(b) 洗浄対象物の特徴

- I) 大型機器である事（重量大）SH: 29トン EV: 40トン
- II) 構造が複雑である事
- III) カバーガス領域に蒸着Naが考えられる事
- IV) 管東部のドレンの状態が判らない事

(c) その他

- I) 洗浄後の試験、検査目的を満足させる事

以上を考慮して、洗浄方法として適応可能なものとしては、次の6つの方法が考えられる

- I) 外部予熱によるNaの溶解法
- II) 水蒸気洗浄
- III) 炭酸ガス洗浄
- IV) アルコール洗浄
- V) 真空蒸溜
- VI) 自然潮解法

これらのうち、洗浄後の材料検査の面から考慮すると、アルカリ腐蝕を受ける可能性のある水蒸気洗浄以外の方法を採用するのが望ましい。

これらの手法の中で、まず真空蒸溜法は、既設設備上の問題すなわち、予熱温度及び配管コンダクタンスの面から採用が不可能であり、また外部予熱においても、完全にNaを除

表2. 洗浄方法とその特質

去することができない。

さらに、水洗浄及びアルコール洗浄は、最も危険度の大きいものであるため、その採用が困難である。

炭酸ガス洗浄は、その洗浄時間が長期となることを考慮すると同じく採用が困難である。

したがって、すべての要求を満足させる洗浄方法はないと云えるが、個々の洗浄方法の長所のみをうまく利用して、それらを組合わせることにより、要求をほぼ満足できる方法として、次の方法が考えられる。

(a) 第1段階

外部予熱方法により、可能な限りNaをドレンさせる。この方法により、洗浄期間を短縮させる。

(b) 第2段階

アルゴンガス雰囲気中での水蒸気洗浄

(c) 第3段階

炭酸ガス封入による潮解水酸化ナトリウムの炭酸ナトリウム化

この方法により、アルカリ腐蝕の受ける時間を短縮させる。

以上三種の方法を利用して、蒸気発生器洗浄方法の基本と考えることにした。

これらの三段階の洗浄方法のうち、第2番の水蒸気洗浄が洗浄工程における比重が最も大きいものであるが、不活性ガス中における洗浄方法には、多数の実施例があり、例えばF B R 安全性試験室におけるNa - 水反応容器の洗浄、英国のSuper - NOAHの反応容器の洗浄等が典型的な例である。またこの方法に関しての、IAEA Specialist Meeting, (1973 Doureray)¹⁵⁾におけるこの種の洗浄装置の構成、操作に関して次の集約がある。

(a) 不活性ガス中にて機器を加熱

(b) 蒸気あるいは蒸気／窒素混合ガスを導入

(c) 蒸気量を制御するため、排出口に水素濃度計を設置

(d) 反応完了の指示

(e) 水洗

(f) 乾燥

また、この洗浄方法に関して次の結論を与えていた。

◦ 不活性ガス中における水蒸気洗浄に関する結論

(a) 制御された蒸気洗浄後、完全にNa除去し、最終的に水で洗浄する方法が広く支持された。

この様に取り扱えない機器は系に再び取り付けるべきではない。

(b) 約 150°C の不活性ガス中での初期加熱は、機器から Na を完全にドレンし、かつ蒸気を導入した時の凝縮を防ぐ。120°C よりわずかに低い温度かつ乾燥した蒸気／窒素（ほぼ同じ割合）でまず洗浄するのが好ましい。この混合ガスの蒸気濃度は徐々に 100 %まで増加すべきである。PH 監視や水素の監視は供給蒸気の制御と過度な温度を避ける上から用いるべきである。

水素監視は完了を知る上で適している。

(c) 特に機器全体にわたり効果的な洗浄がなされた事を更に確実にするため水洗に注意が注がれるべきである。

高温の脱イオン水が好ましい。また PH を監視すべきである。蒸気洗浄と水洗は、遅れなく行なうべきで、また高温ガス乾燥より真空乾燥が望ましい場合はそうしてよい。

(d) 更に蒸気洗浄の改良や応力腐食割れに及ぼす影響についての研究が望まれる。

粒界腐蝕といった他の金相学的效果への影響も研究されるべきである。

以上 IAEA Meeting での結論を参考として、水蒸気洗浄装置、機体の決定を行うこととしたが、この中で洗浄温度として 120°C 前後が望ましいとされているが、50 MWSG の加熱方法は、胴表面に設置されている予熱ヒーターであり、また対象の全熱容量が非常に大きいため、温度制御を十分に行なうことが困難と予想される。

さらに図 6 は、各温度における水酸化ナトリウム飽和水溶液の平衡水蒸気圧力を示したもの¹⁶⁾であるが、温度の上昇につれ、水酸化ナトリウムが水溶液で存在するための水蒸気分圧が急激に増大する。

すなわち高温度では、水酸化ナトリウムを固化させないために、多量の水蒸気を送入しなければならないこととなり、また水蒸気の増加は、Na - 水蒸反応の反応絶対量を増加させ、反応生成物である水素ガス量が増加することとなる。

特にこの傾向は洗浄開始時に著しく、また危険性が大きいこととなる。

これらのことにより、本洗浄における洗浄温度は蒸気発生器内部の Na 付着状態を観察 蒸気送入ライン Na の閉塞の有無、Na の絶対量等の確認を行った後決定するものとした。

2) SG 本体解体手法

1) 項で述べた如く SG の洗浄は、不活性ガス雰囲気中での水蒸気洗浄で行うため、管束、胴の一体の状態で作業を実施しなければならない。また、対象の重量、寸法が大きいため、SG 室内に設置した状態のままで実施しなければならない。

このため、本体の解体は次の順序で実施することとした。

- (1) 本体フランジ用リップシールの切断
- (2) 挿しボルトによる管束のかさ上げ
- (3) 管束の引抜き

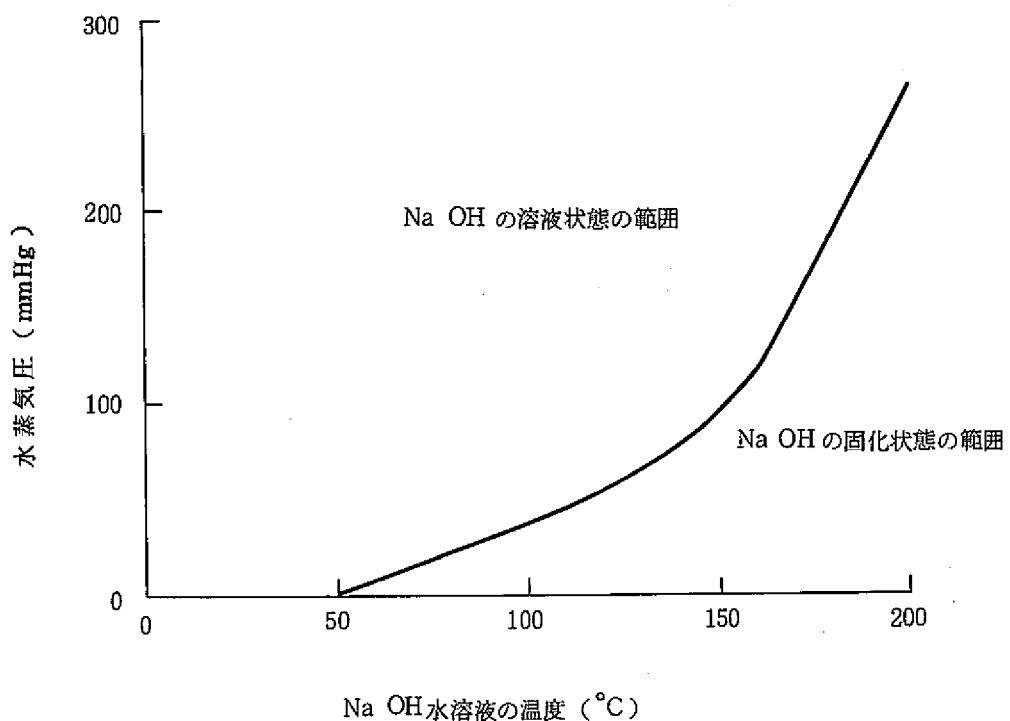


図 6. 各温度における水酸化ナトリウム (Na OH)
飽和水溶液の平衡水蒸気圧

(4) スキッドによる管束の輸送、仮置架台への据付

(5) 脊の撤去、輸送

また管束は、材料検査その他の解体後検査への万全を計るため、ビニールシートの筒で窒素ガス 囲気に保つこととした。

3) 配管、配線その他構造物の解体方法

先にも述べた如く、本施設のうちSG本体を除く大部分の装置、構造物類はそのまま2号機の建設に際しても再使用される予定であり、そのため解体、洗浄作業は本体の撤去に必要な最低限度の部分を撤去するのみで、他は再使用に備えて保存しなければならない。この理由のため各撤去は次の方法で行うこととした。

(a) 配管及び付属品

Na 配管は切断位置の両側よりアルゴンガスを送入しながらまたその流量は、微圧計にて調整、付着しているNa が酸化しない様十分注意し切断後は直ちに盲溶接を実施する。

水／蒸気側配管も同様に窒素ガスをページしつつ、流用配管への大気の混入を防止する。

また流用バルブ等は切断後直ちに窒素ページ盲を実施する。

(b) 架台

架台はSG の吊り出しに必要な部分のみを撤去しまた撤去部分は再使用するものとし可能な限り大きなブロックでの切断を実施する。

(c) 動力用、計装制御用ケーブル

ケーブル類は、中継端子箱より機器側にて切断するものとし、動力室、中制室～中継端子箱間での切斷は一切行なわない。

第3章 洗浄装置およびその方法

3.1 洗浄装置

洗浄装置の概略系統図を図7に示した。主な系統構成は、洗浄蒸気系と不活性ガス系及びその排気系さらに洗浄に伴い発生する水素を検出するためのサンプリングラインと水素計などから成っている。なお万一の際の安全系として、放出系を既設のままの形で利用している。以下これらの詳細について説明する。

1) 蒸気系

蒸気発生源としては、最大蒸気発生量が 60kg/h で、圧力 4kg/cm^2 の通称スチームクリーナと呼んでいるものを利用した。ここで発生した水蒸気は蒸気流量計を通り、Na リングヘッダのNa 入口管部に入れるようにした。

蒸気流量計は面積型（ロータメータ方式） $0 \sim 10\text{m}^3/\text{H}$ 、使用圧力 0.2kg/cm^2 温度 180°C のものを購入手配していたが、SH洗浄には間に合わず図8に示した様な暫定的なオリフィス型流量計を取り付けた。この流量計を装置取付前に凝縮水量測定法により較正した結果は図9に示した通りであった。測定範囲は $5 \sim 20\text{kg/H}$ 圧力は約 1.1kg/cm^2 温度 130°C で全スパン較正された。

実際の洗浄運転時の使用条件は、それらの温度、圧力条件とは異なるので、その補正は必要であった。

2) 不活性ガス系

不活性ガスとしては値段の安い窒素でも良いのであったが配管の切断や洗浄の際に多量に使うことになるので、その設備上アルゴンガスが用いられた。当施設内には気化ガスにして約 9000m^3 保有できる液化アルゴンタンクがあり、多量にガスを使うことが可能であった。しかし既設アルゴンガス系には、図10に示したように減圧弁が入っており、この容量が小さく、必要流量がとれないということで、減圧弁をバイパスするような配管系に改造した。

この先は図7のアルゴンガス系に接続されており、ロータメータ式流量計最大流量 $30\text{m}^3/\text{H}$ （常用圧： 0.2kg/cm^2 ）を通り、Na リングヘッダの入口管へと接続されている。

3) 排気系

排気系は蒸気およびそれとNa の反応生成ガス、さらにこれら生成ガスである水素のペジとして流しているアルゴンガス等の排気をする系統である。

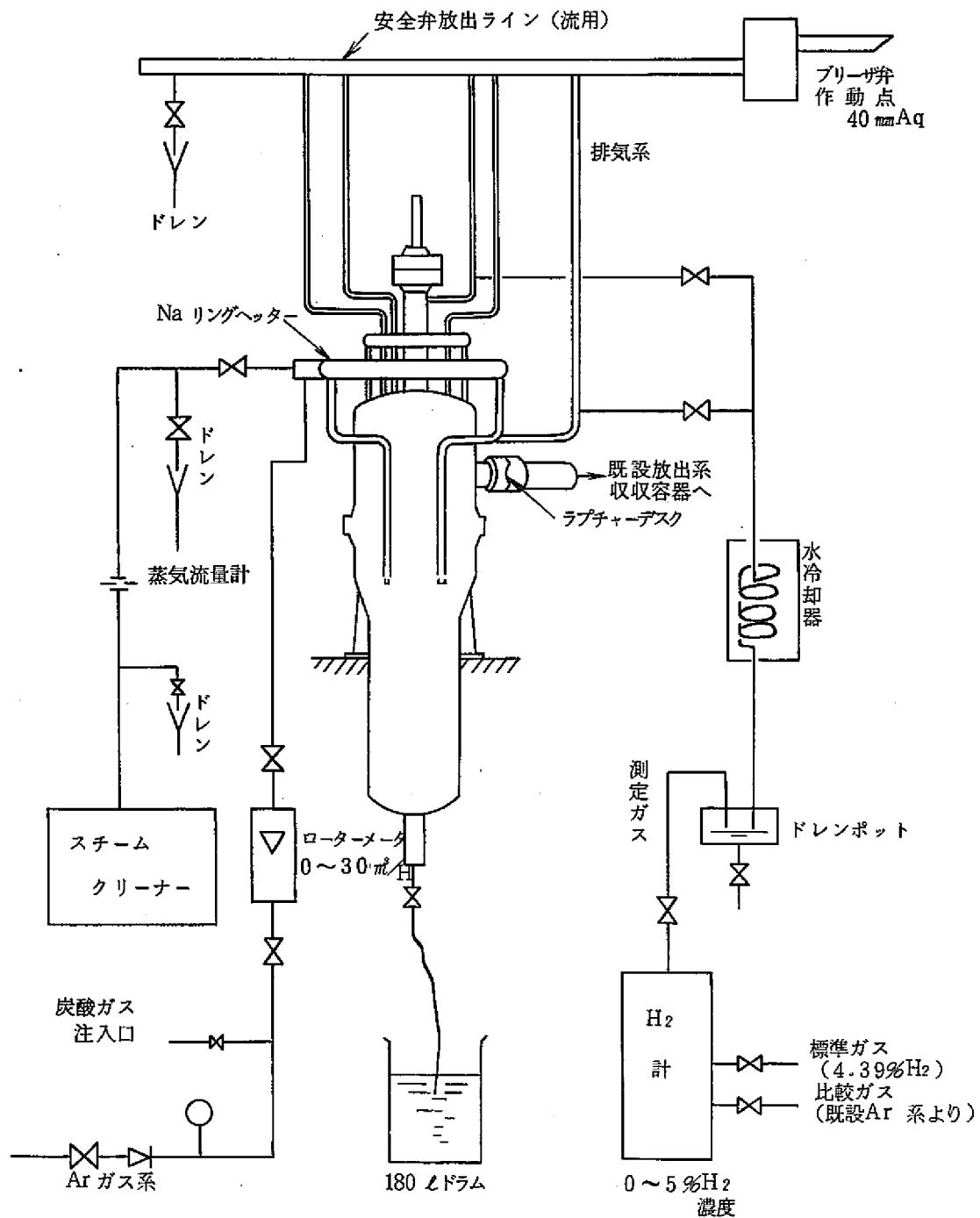


図 7. 洗浄装置全体系統図

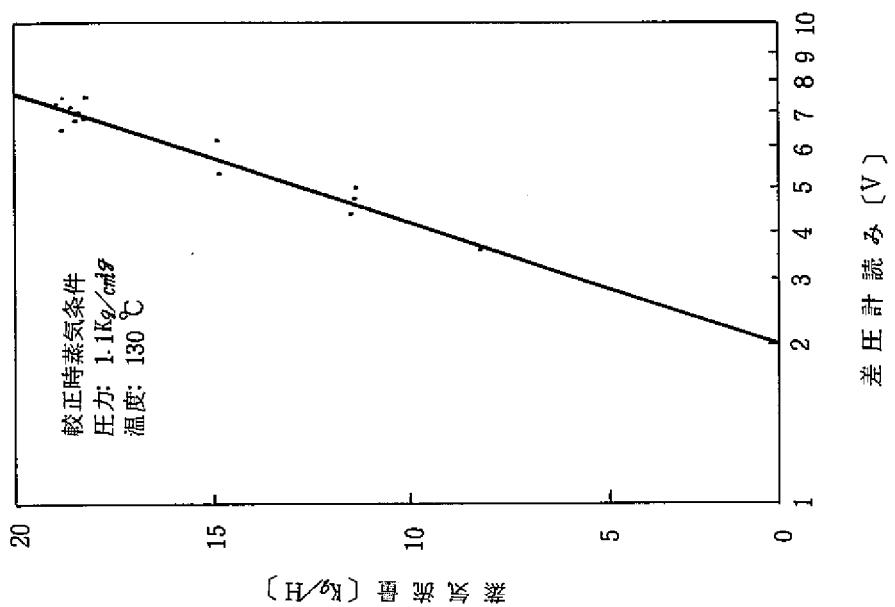


図 9. 洗浄用蒸気流量計（オリフィス）較正結果

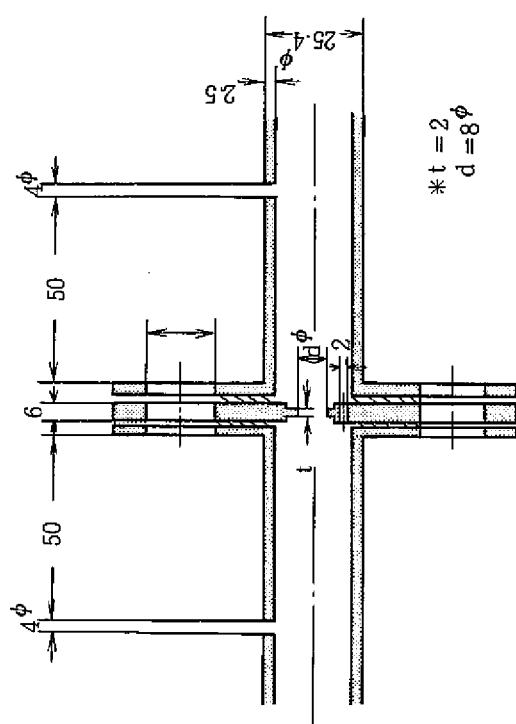


図 8. オリフィス寸法図

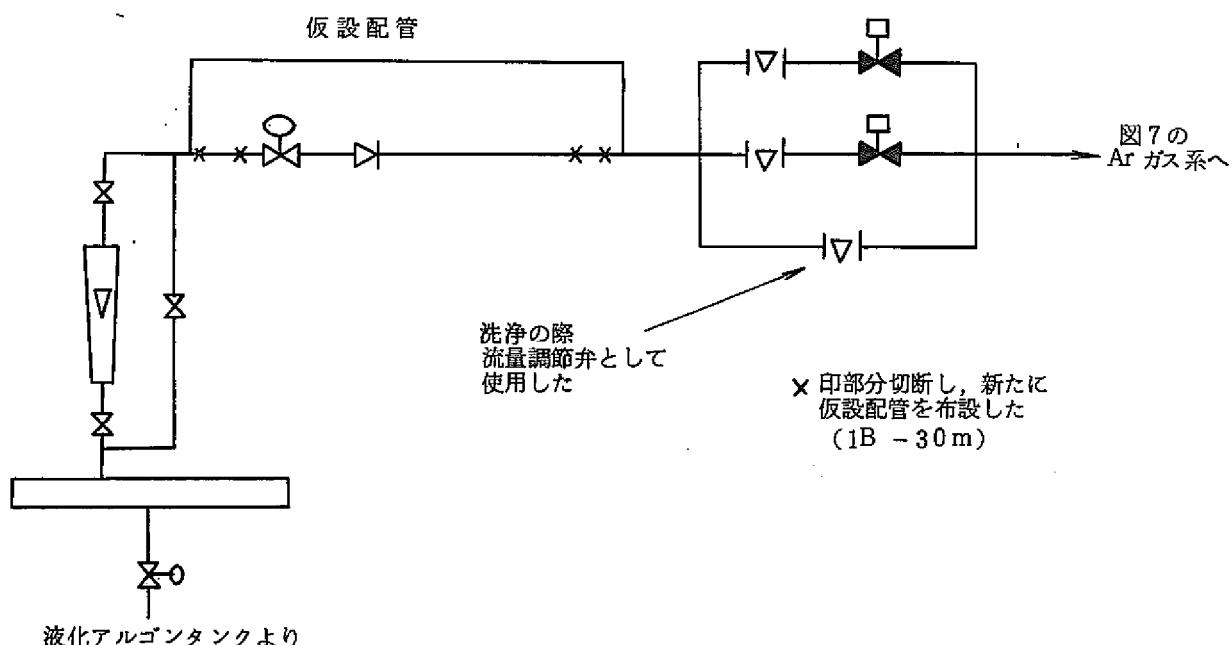


図 10. 既設アルゴンガス系配管の改造

排気系の取り出しひは停滯部ができないようにSH側においては、誘導式液面計3本とカバーガス呼吸管ノズルおよび蒸気管板のNa側カバーガス領域に15°のドリルにて穴をあけこれに1 $\frac{1}{2}$ B(48.6°OD)の排気管を取付けた5ヶ所からなっている。EV側は誘導式液位計ノズル2本、Na汲上げ系ノズル、カバーガス呼吸管ノズル、さらにSH側と同様蒸気管板下に穴をあけ、これら5ヶ所にそれぞれ排気管を接続している。これら5本の排気管は、既設の安全弁放出管に接続し、大気放出するようにしている。なお大気への放出口近くには、ブリーフ弁とフレームアレスタを取付け系内への空気の逆流および逆火を防止している。

ブリーフ弁の作動圧力は40mmAq±3mmAqとなっている。

4) 水素濃度測定系

本洗浄に用いられた水素計は、水素ガスの熱伝導度が表3に示したように窒素やアルゴンなど他のガスに比べ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ストンブリッヂ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 0~5%H₂

精度 フルスケールの±2%

応答速度 90%応答20秒(本体セルについてのみ)

サンプリング系移送遅れを考慮すると約5分

出力 DC 0~10 mV(記録計入力)

比較およびサンプルガス条件

圧力 0.2~10 kg/cm²

温度 0~40 °C

流量 400 cc/min

警報設定 2%

測定原理は図11に示したように比較ガス(基準ガス)と測定ガス(サンプルガス)を検出セルに導入し、ここで測定しようとする混合ガスの熱伝導度の差を検出し、これによって水素濃度を知るものである。分析計の検出セルは図12に示すごとく比較ガス室と測定ガス室に分かれ、その各々の室内に同じ条件に設定され、加熱された白金エレメントが組込まれており、この2つのエレメントはホイートストンブリッジ回路を構成している。

このホイートストンブリッジ回路を構成している両セル室に、それぞれ基準ガスおよび水素を含んだ測定ガスを流した時、測定ガス室のエレメントはガス中の水素の熱伝導度が

表 3. 各種ガスの熱伝導率

ガスの種類	0°C における熱伝導率 ($10^{-5} \text{ Cal/cm sec } ^{\circ}\text{C}$)
空 気	5.83
窒 素	5.81
酸 素	5.89
水 素	41.60
アルゴン	3.98

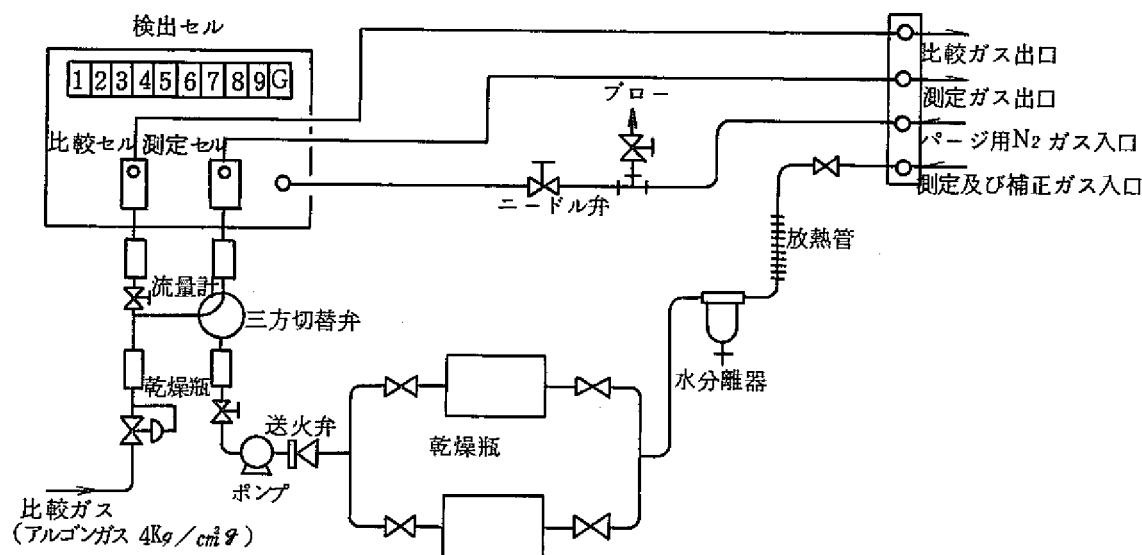


図 11 測定原理系統図

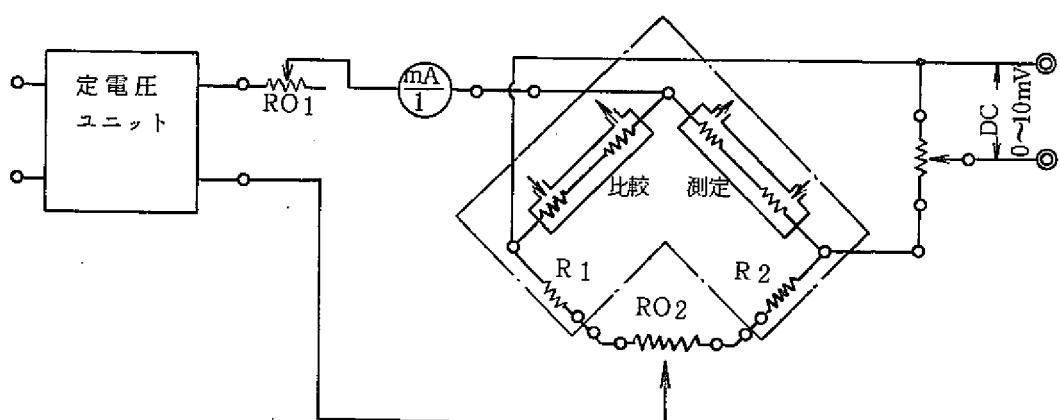


図 12. 検出原理図

大きいので、水素ガスの含有量に応じて熱の奪われる量が変化し、それによってエレメントの抵抗が変化する。一方基準ガス室の方を流れる基準ガス（アルゴン又は空気）の熱伝導度は一定であるから奪う熱量（エレメント抵抗）も一定になっている。

この様にして、測定ガス室と基準ガス室の抵抗変化をホイートストンブリッヂ回路の不平衡電圧として取り出し、受信計器に導き、水素濃度の指示、記録をするものである。計器のスパン調整はアルゴンガスに水素が4.39%入った標準ガスにより行なうようになっている。サンプリング系はカバーガス層の最上端である。蒸気系管板のすぐ下に取付けられた排気管と中段のカバーガス呼吸管ノズル部に取り付けた排気管の2ヶ所からサンプルができるようになっており、切替えによってそれぞれの水素濃度が測定されるようにしてある。またこのサンプルラインの途中には冷却器とドレンボットが取り付けられ、サンプルガス中の蒸気のトラップを行なうようにしている。さらに、混分除去としては水素計本体内に図11の様に各種の除湿器がついている。このためサンプリング系の容積が大きくなり応答遅れ（約5分）の原因になっている。

5) 放出系

蒸気洗浄中、反応生成ガスが排気系にて逃しきれず系内圧が高くなりすぎりるような場合問題となるので、このような万一の事態にそなえて既設の放出系を活かしたままとした。放出系はSG本体近くの第1段ラプチャデスク、反応生成物を収納するための収納容器、および大気遮断用の第2段ラプチャデスク、さらに第2段ラプチャデスクが破裂し、系内圧が低下したとき大気が逆流するのを防止するための大気遮断弁などからなっている。

放出系第1段ラプチャデスクの設定圧は次の通りである。

SH側 505°Cにおいて 4.0kg/cm²

EV側 470°Cにおいて 4.0kg/cm²

なお、この放出ラインはできることならアルカリ雰囲気にさらしたくなかったため、緊急用としての放出の機能は持たせておいたが洗浄の際の排気ラインとしては使用しなかつた。

6) 潽解液ドレン系

潮解液ドレン系は洗浄作業により、SG内に留る潮解液を180L入ドラムにドレンするラインで、仕切弁とフレキシブルチューブよりなるもので、ドレン時高濃度の苛性ソーダが人体に飛散しないように工夫する必要があった。潮解液ドレンは洗浄経過を知るため、洗浄作業中に行なうことが望まれた。このため万ードレン中に急激な反応が起った場合潮解液の飛散が考えられるので、仕切弁には離れていても操作できるような棒の長いハンドルを付けた。また、ドレン管としてフレキシブルチューブを用いたのはドラムの交換を容

意にするためのものである。

7) その他

(1) 温度計測

蒸気洗浄時の反応状態を温度にて検知するため SH, EV とともに既設熱伝対により, SG 本体内各部の 24 点について温度記録するようにした。

(2) 炭酸ガス系

湿潤ガス洗浄作業の最終段階で炭酸ガスを注入するラインで、蒸気洗浄で残った活性な Na および Na OH などを活性の少ない炭酸ナトリウムに変化させようとするものである。炭酸ガスは、ポンベで購入し、SH, EV それぞれ 3 本,(1 本当たり 15 Nm³) 位づつ注入できる量を確保した。

3. 2 SG洗浄方法

図 7 に示した洗浄装置の据付が完了したならいよいよ SG の洗浄に入れるわけであるが、その操作上の注意した点および方法について手順を追って報告する。

1) 系内水素濃度の測定とアルゴンガスバージ

水素ガスの空气中における爆発下限界濃度は 4 %であるが、SG 本体のループよりの隔離作業や洗浄装置据付工事により系内に空気が入り込み、爆発範囲になっていることも考えられる。そこで、まず水素計により系内の水素濃度を測定するとともにアルゴンガスによるバージを行なう必要がある。たとえ水素計にて 4 %以下の濃度であっても局的に 4 %を越える部分があると考えられるので、できるだけ低濃度までバージしておく方がよい。

2) 蒸気ラインの予熱

スチームクリーナの起動時には蒸気に湿分が多く、また系統が常温のため凝縮水ができるので、SG 本体近くまでその発生蒸気により十分予熱しておくのが望ましい。

3) Na 洗浄

前述の操作が終ったなら、いよいよ Na の洗浄に入るわけであるが、その洗浄操作に対する基本的方針としては水素濃度を 2 %以下にて行なうことであった。それにはまずアルゴンガス流量を多めに流しておき(ここでは約 20 m³/H を予定), 次に蒸気を流す。蒸気量は、最初、SG 本体が常温になっているので凝縮水ができやすく、それによる急

激な反応も予想されるので、水素計およびSG 内部温度計を監視しながら、わずかづつ流した方がよいと考えられる。水素濃度が2%を越えるような場合、蒸気流量を減らすなり、アルゴン流量を増やすなりして、できるだけ水素濃度を2%以下に抑えるよう心掛ける。こうして水素濃度が2%以下ならば、蒸気流量を少しづつ増やしてゆき、ステムクリーナーの最大流量60kg/Hを流しても水素濃度が低下するようなら、アルゴンガス流量を減らせばよい。最終的にはアルゴン流量を零にしても水素濃度の増加がみられず、かつその濃度が零近くであれば、ほぼ洗浄は終了したものと考えられる。しかしNaの洗浄が終つても洗浄面にはかなり高濃度の苛性ソーダが付着している。このような高濃度の苛性ソーダを長期間にわたって付着させておくのは好ましくないので、できればPH10程度まで蒸気洗浄あるいは水洗浄するのがよい。

4) 潮解液のドレン

洗浄に要する蒸気は極めて多く、SG本体が常温洗浄でもあることから、凝縮水がかなり出ると予想された。このため潮解液のドレンは蒸気注入量とその注入時間とを考慮して洗浄中時々行なう必要がある。潮解液のPHは洗浄状態の把握や構造材防食上重要であるから、測定しておくのが望ましい。また潮解液から塩酸滴定によりNa量の算出や苛性ソーダにて減食を起した鉄分などが抽出されるであろうから、潮解液の抽出条件をあきらかにするとともに定量を十分やっておく必要がある。

これらの潮解液は非常にPHが高い(12以上)から、酸類で中和して排水しなければならない。この中和には既設の水処理用中和槽を用いられた。

5) 炭酸ガスの注入

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)を炭酸ガス(CO₂)によって、それら腐食性の強い化合物を安定性のある炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)に置き換えようとするものである。このガスはボンベで購入し、ロータメータ付の減圧弁で1kg/cm²まで減圧し、最大流量15L/mで注入される。なお減圧弁は、ヒータ付であるのでかならずヒータ電源を入れる必要がある。そうしないと固化してしまう。

第4章 解体工程およびその工事状況

4.1 SG の解体洗浄は以下の手順によつて行なわれる

解体前の状況

SG 装置は既に予定されていた各種試験を終了して、3月27日に停止に至り、Na ドレンおよびその後のNa キリのための予熱維持は図13に示したように行なわれた。その後のNa 側はアルゴンガスで、水蒸気側はN₂ガスでそれぞれ置換され、水側においてはSH, EVともに内部の水分はほぼ完全に除去されているものと考えられる。

解体準備

各配管等の切断個所は保温解体、足場組立、予熱ヒータおよび計装電力線の切断、解体を行なう。

配管等の切断時に切断面より空気が混入するのを防ぐため、アルゴンガス供給用(Na側)と窒素供給用(水蒸気側)ノズルあるいはバルブを取り付け、たえず管内の置換ガスを大気圧より若干高くして、僅かづつガスを流しておくようとする。

SH 接続配管切断

SH 本体に接続されているNa 出入口配管、アルゴンガス系配管、計装配管、配線の切断を行なう。

2号機SG に流用される誘導式液面計の撤去も行なう。

SH 洗浄装置組立、据付

洗浄に必要な蒸気発生器、アルゴンガス供給系、炭酸ガス供給系などで構成される洗浄装置の組立および、洗浄ガスが放出される放出系さらに水素濃度監視のための計測ラインや潮解液を抜くためのドレンラインの製作工事を行なう(詳細は3.1項参照)

SH 洗浄作業

SG 本体内に付着しているNa の洗浄を行なう。この作業についてはPNC が直接作業にあたる。(洗浄方法については3.2項参照)

EV 接続配管切断

EV 本体に接続されているNa 出入口配管、給水入口配管、蒸気出口配管、アルゴンガス系配管、計装配管配線の切断を行なう。

誘導式液面計の撤去はSH 側と同時に行なう。

EV 洗浄装置移設

SH 洗浄作業で用いた各種洗浄機器をEV 本体の洗浄ができるよう移設し組立てる。

EV 洗浄作業

EV 本体内面に付着しているNa の洗浄を行なう。

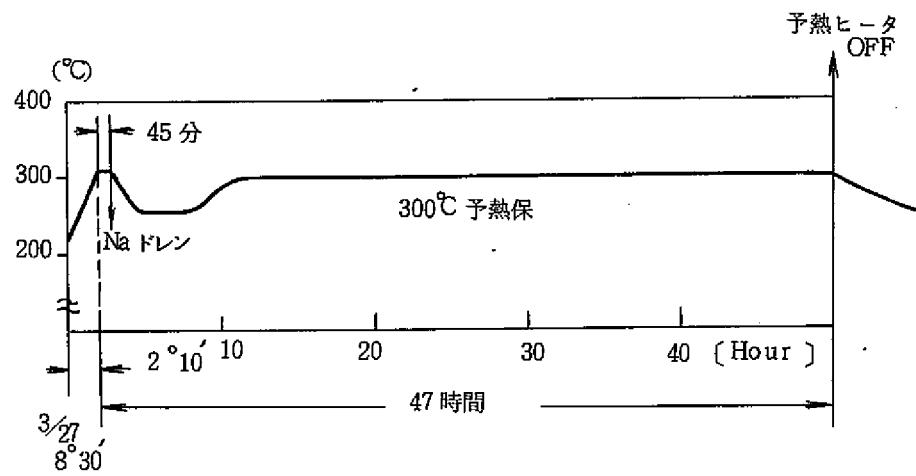


図 13. Na ドレン温度とその後の予熱経過

洗浄作業についてはSH同様、PNCが作業にあたる。

架台解体

洗浄終了後、洗浄装置を取り外してSH、EVとともに他の配管、配線等から完全に隔離された状態にする。

SH、EVの管束引抜き時、およびシエル等の搬出の際、障害となる架台を解体する。

管束部引抜き準備

SH、EVのNa入口リングヘッダを本体より切断する。

管束フランジのリップシール溶接部を切断する。その後押ボルトを用いて、管束のかさ上げが可能な事を確認する。さらにクレーンにて150mm程浮かして、鋼のブロックをスペースとして入れて、吊り降し保持する。

管束引抜き

SH、EVそれぞれの管束を天井クレーンにて吊り上げて、すでに用意されている管束支持架台（スキット）およびこれに取付けられたビニール筒に挿入据付を行ない、ビニール筒には窒素ガスをバージし酸化防止につとめる。

管束シエル保管

スキットに縦置きされたEV側管束は天井クレーンとレッカ車の共吊りにより、転倒し、横置きの状態にして、トレーラに乗せ、Na機器室に運搬、ここに横置きで保管する。その後SG室のスペースの関係上、EV、SHのシエルを別々に架台より取り外し、トレーラにて屋外の指定場所に搬出保管する。

SH管束は最終的にSG室のスペースの空いた所に横置き保管する。

なおこれら管束は解体検査を行なわれることになっているが、EV側は現在位置で、SH側はメーカー持帰り解体検査予定になっている。

後片付けおよび完了立合

SG撤去後の不具合箇所等の見直し作業、整理整頓および残材や工具類の整理を行なう。

最後に完了立合を行ない問題なければ、すべての作業の完了とする。

4.2 工 程

50MW1号機SGは昭和50年3月27日にすべての試験を終了し、6月からは2号機SGの据付工事が開始される予定になっている。

したがってSGの解体撤去はその間の2ヶ月という短期間に行なう必要がありさらにその後予定されている解体検査や材料検査およびNaのリングヘッダの水流動試験等各種検査や試験に備えてNaの洗浄も行なわなければならなかつた。

作業工程はこれらの事情を十分考慮した上で計画された。

その工程を実績も含めて表4に示した。この工程の中で特に予想の立てにくかったのが洗浄作業であった。

洗浄作業はSGが大型であるという他に架台に据付け状態で、しかも内部のNa付着状態もあまり確認しないで洗浄を行なうなど、これまで経験のない方法でやることで果してうまくいくか多少の不安があった。

また初期計画ではSG本体を予熱状態(予熱ヒータにより120°C前後に保持)にて蒸気洗浄するということでこの分洗浄期間に余裕をもたせた日程で計画されたが、配管切断時などにおいて内部観測を行なった結果ナトリウムの付着は常温洗浄でも問題ない程度でありヒータの使用を取り止めた(これは第6章で述べたように結果的によかつたようである)ため昇降温の時間が節約された。さらに保温もSH, EV別々に取り外しを予定していたが、予熱ヒータの使用を止めたことから同時に行なうことができたなど、工程短縮の要因になったようである。

それにもまして本工事にたずさわった作業員の技術レベルの高さが、新たにでてきた作業例えばSH放出系配管の切断復旧、フランジ部リップシール溶接部のカラーチェック、およびその部分のテストピース採取などを行なったにもかかわらず、予定より早めに工事を完了できたものと確信する。

4.3 解体工事状況

解体洗浄作業工程の予定と実績は表4に示された通りであった。これら作業の全般にわたって説明するのは繁雑になるので避け、今後このような大型機器を解体洗浄する上で参考になると思われる点や洗浄作業に関連する記事にとどめた。なお洗浄作業については次章に述べたので、ここでは省略する。

本作業の主な内容と作業順序はまずSHのループよりの隔離作業の配管切断、その後洗浄装置の組立取付、SHのNa洗浄、SHの洗浄が終ったところで次にEV側配管切断と洗浄装置の移設、洗浄、管束引抜きのための架台切断、SH, EVの管束引抜き、搬出保管という手順で行なわれた。

図14に配管の主な切断箇所と管サイズを示した。配管切断の際、注意しなければならなかつたのはSG本体以外のループ系を2号機に流用するということで、切断時の切削の入り込みや、空気混入によるNa側におけるNa潮解、水側においては錆びの発生などが問題になるので、このような事のないよう十分注意が払われた。

またすべての作業が写真1にみられるような高所作業であり、足場板等高所作業安全基準の適用、さらに流用配管についてはハンガーの移動等にも十分注意が払われた。

1) SH側配管切断

表 4. 50 MW SG 解体洗浄工程

項 目 月 日	3月				4月				5月				10月				15月	
	31	1日	5	10	15	20	25	30	1日	5	10	15	30	1日	5	10	15	
◦ SH解体洗浄																		
1 作業準備(足場保温解体)																		予定実績
2 設装電線撤去																		
3 計器類撤去																		
4 洗浄装置据付																		
5 SH廻り配管切断 (水蒸気, Na, カバーガス)																		
6 SH洗浄																		
◦ EV解体洗浄																		
1 洗浄装置移設																		
2 EV廻り配管切断 (水蒸気, Na, カバーガス)																		
3 EV洗浄																		
◦ SHEV搬出その他																		
1 洗浄装置撤去																		
2 架台解体																		
3 管束引抜ビニールカバー取付																		
4 管束搬出保管																		
5 切断配管のNa洗浄																		
6 瓦材等清掃																		
7 完了立会																		

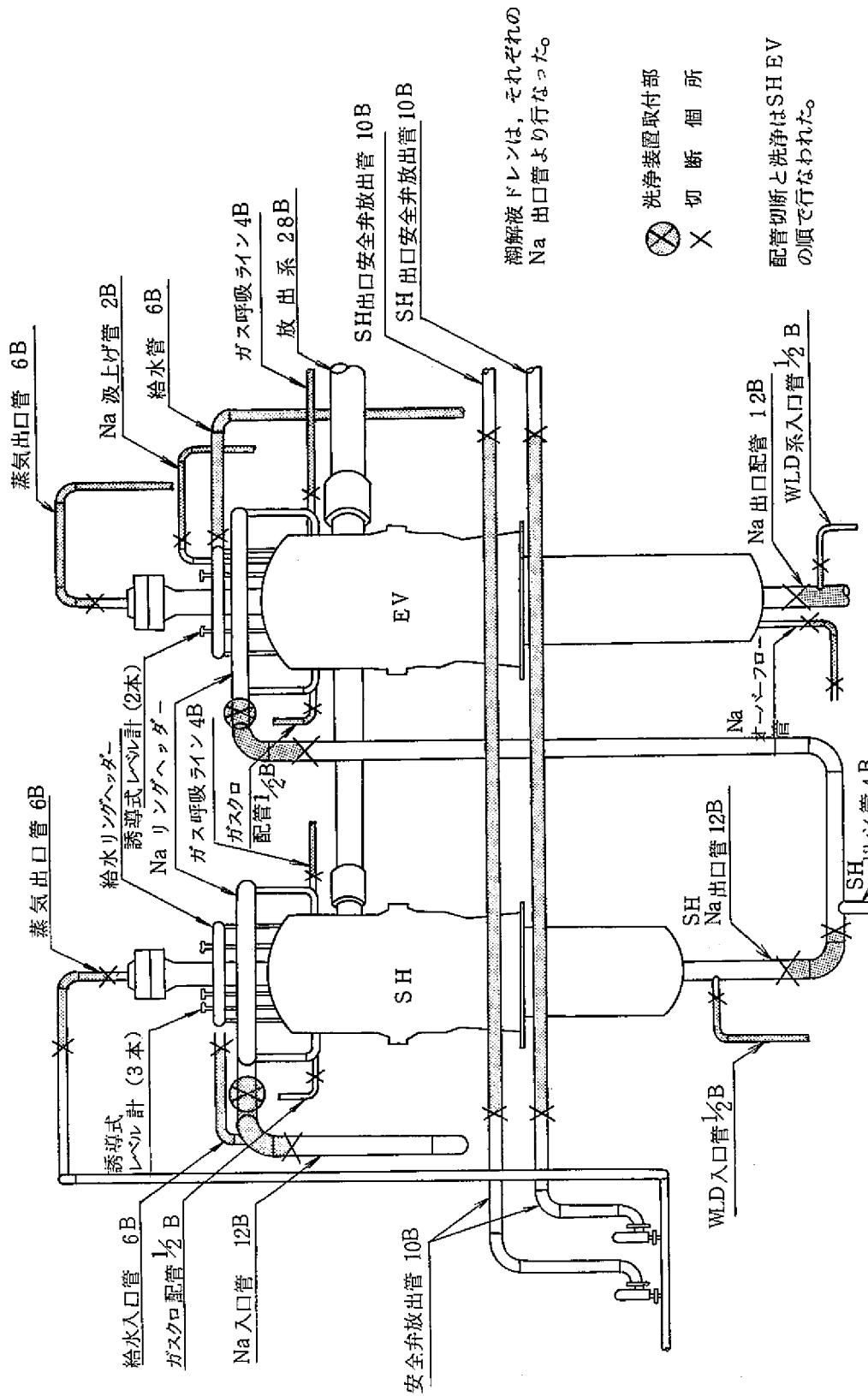


図 14. SG 回り配管切断箇所と管管サイズ

(1) 蒸気出入口管

4月4日水蒸気ループとSHを隔離するため、切断を行なった。蒸気管内部を窒素ガス霧囲気（圧力 0.1 kg/cm^2 程度）にして、出口管側をローターバンドソーにて、入口管は場所の関係でローターバンドソーが使えず、アセチレンガス溶断にてそれぞれ切断した。蒸気管内部には四酸酸化鉄らしき黒色物が見られた。

切断後の配管には盲板を溶接し、空気の侵入が起らないようにした。

(2) Na 出入口管

SHをNa ループより隔離するため、4月8日に入口管、4月9日に出入口管のそれぞれの切断を行なった。配管内には圧力で 20 mmAq 程度になるようアルゴンガスを流しながら、入口側はグラインダ（通称スキルタッチ）で、出口管はスキルタッチをチェーンで管の廻りを回転するようにした切断工具にて、それぞれ切断された。ただし、後者の切断機による方法は管が重直部であったためか、切断面がづれてしまい、かんばしくなかったようである。なお、これらの切断管の内部には写真2に見られるように僅かの残留Na が見られた。

切断後のSG側入口管部には蒸気洗浄の際蒸気を注入するためのミキシングタンクを出口管側には潮解液ドレンのためのバルブ付フレキシブルチューブがそれぞれ取付けられた。

(3) 放出系配管切断復旧

4月12日、ラプチャデスク近傍のNa 付着状況をできるだけ広範囲に観察するため、洗浄前には切断する予定にしていなかった、放出系配管を急きょ切断した。

SH 内部および放出系配管内部はアルゴンガス霧囲気（圧力 20 mmAq 程度）にしてスキルタッチで切断を行なった。この切断中、残留Na による発火がみられた。放出配管が切断された後約40分間位内部観察を行なっているが、その結果については、別記（SG 内部観察の項）する。

放出系は観察が終ったあと、配管切口付近について潮解Na をアセトンで充分拭き取った後、元の通り復旧し、洗浄に備えた。

2) EV 側配管切断

(1) 水・蒸気出入口管

4月16日に蒸気管を、4月17日に給水入口管をそれぞれ切断し、EV とループの隔離を計った。配管内部には窒素ガスを流しながら、蒸気出口管はローターバンドソーにより、給水管はガスバーナにより切断を行なった。蒸気管内部にはSH 蒸気管と同様な黒色物が見られた。

切断後の配管切口には、それぞれ盲板を溶接し、空気の侵入が起らないようにした。

(2) Na 出入口管

4月17日EVをNaループと隔離するため、切断を行なった。

Na管内部はアルゴンガス雰囲気圧力(20 mBar程度)にして、出入口管ともにスキルタッチにて切断を行なった。配管内部にはSH配管同様の若干の残留Naがみられた。切断口には盲溶接が施された。

3) SG 内部観察(洗浄前)

SH側放出系切断時内部観察を行なった。放出系ラップチャデスク側は写真3に見られるようにかなりのNaが付着していた。Naのこん跡をみると上部から下部にしたたり落ちたような状況がうかがえ、下部にはかなりの固りが認められた。ラップチャデスクにも一面にNaのしづくの固りが無数についていた。

なお、洗浄後のラップチャデスクは写真3に見られるようにNaは綺麗に洗浄されているが、表面は大分荒れているようであった。

放出系よりSG内部を見たものは写真4に示したように視野が狭く、Naの付着量を把握するまでに至ってない。そこで、後々の参考になるよう、三脚にカメラを取付、SG内部にカメラを挿入して写真撮影を行なった。その写真5によれば上部鏡付近(最もNaの付着が多いと思われていたカバーガス層部)には、ほとんどNaの付着はなかった。

SH側のカバーガスノズルは通常運転レベルより1450mm高い位置についているにもかかわらず写真6にみられるように、オーバーチャージと思われるようなNaの残量がみられた。これについては6.3項にて検討をこころみた。

EVにおいて内部観察ができたのは出口配管切断のとき、内部にカメラを挿入して写真撮影を行なったときである。それによれば、管束底部には写真7にみられるようにNaの付着が比較的多かったようである。

4) 盲板の溶接

水系配管切断部の盲溶接はほとんど問題はなかったが、Na配管については多少でもNaが付着していると、このNaが溶接の熱で気化し、これがパージガスと一緒に噴き出して溶接を困難にすることがあった。かりに溶接ができたにしても、耐気密性の信頼性には乏しいし、腐食上の問題も残るであろうことが予測された。

ただし、今回の場合は2号機SG据付時盲溶接部すべてが取り除かれることになっている。しかし、その後の溶接にはNaを完全に取り除き、アルコールあるいは水で綺麗に拭きとるなど、その除去には充分注意を払う必要があろう。

5) 誘導式液面計の撤去

誘導式液面計(プローブ: EEC製、アンプ: 日立製)はSH側に3本EVに2本いずれも有効測定範囲800mm、プローブ全長(フランジ下)4393mmが同一レベルになる

ようそれぞれ取付けられている。これら液位計は2号機SGに再使用されることになってるので、洗浄前に取外されることになった。またプローブが取り去られた後のノズルはNa洗浄蒸気の排気ノズルとして利用されている。

切断は図15のように取付けられたフランジ付の保護管をフランジ下表5のような寸法にて切断した。切断はハクソ（金ノコ）により、プローブに傷を付けなうよう十分注意を払って行なった。

6) SG本体フランジ（リップ溶接部）のカラーチェックとテストピースの採取

(1) カラーチェック

リップ溶接部が運転期間中健全であったかを確認するため、この部分のカラーチェックをNa洗浄後のSH, EVについて行なわれた。カラーチェック前にフランジのボルトの抜き取りが必要であつたが、焼付き現象がみられたため、油を一晩差しておいたら楽に弛めることができた。またカラーチェック時全数のボルトを外した場合、残留応力等による変形によりクラックの発生があるかも知れないということで8本程残して、カラーチェックが行なわれた。

SH側は欠陥らしきものは全然みられなかった。

EV側は1ヶ所だけピンホール状の单一Indicationが認められたが運転により生じたものではないという結論であった。

(2) テストピース採取

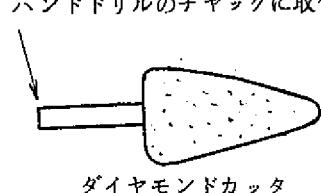
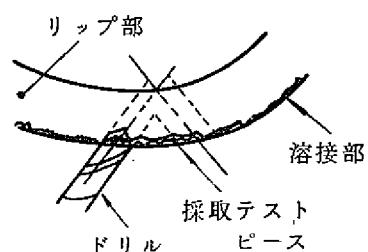
リップ溶接部の内部隙間腐食があったことを確認するためテストピースを採取することになった。この部分は図4にみられたようにフランジの狭い部分に位置しているため採取作業は困難であった。

採取には通常の切断工具が使えないため、SH側は右図のようにドリルにてV字型に穿孔採取を行なった。

ドリル穿孔中、その穴よりNaの燃えたものが噴き出してきた。状況からみてリップ溝全周にNaが入っているらしいことが予測された。通常Na運転レベルから

考えて、リップ部にNaが多量に入ることは有り得ないのであるが、その原因については6.3項に譲る。

EV側は溶接部にインコネル肉盛りをしているため、硬く、ドリルによる穿孔採取は不可能であった。そこで、下図のようなダイヤモンドカッタと称する高速ベビーグラインダで削り取る方法がとられた。しかし能率は非常に悪かった。そこでテストピースの採取を容易にするためフランジに2ヶ所程、ガスバーナにより切欠



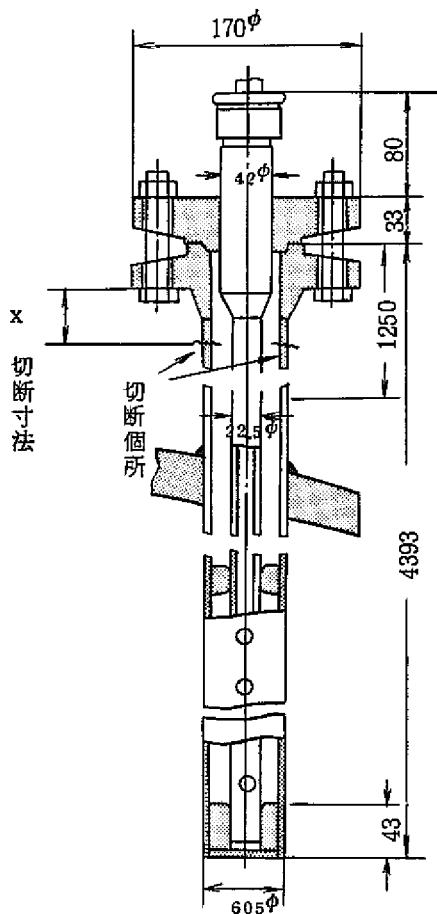


図 15. 誘導式液位計の取付寸法

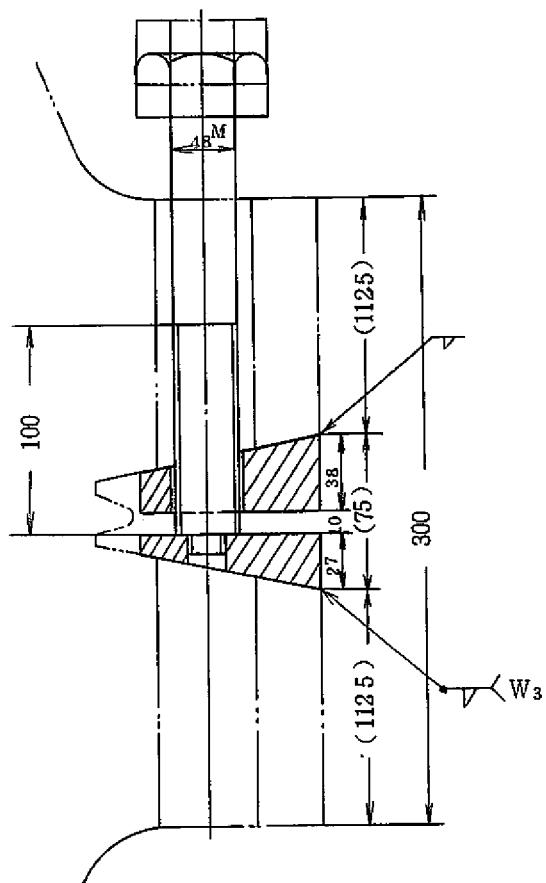
図 16. 管束かさ上げ用
押しボルト

表 5. 誘導式液位計の切断寸法

取付 SG	TAG. NO.	切 断 寸 法	備 考
SH	LE 12- 1	110 mm	ダウンカマ部 Na 液位
	LE 12- 3	100	伝熱管アニュラス部 Na 液位
	LE 12- 4	220	"
EV	LE 11- 1	115	ダウンカマ部 Na 液位
	LE 11- 3	140	伝熱管アニュラス部 Na 液位

けを作ったが、この切欠をリップ部根元までつけると採取テストピースに熱影響を与えるということで、切欠けを小さくしたため、やはり作業性はよくならなかつた。このためテストピースは6ヶ取る予定にしていたが工程上の兼合いから4ヶしかとれなかつた。

7) 架台とNa リングヘッダの切断

管束吊り出しには既設架台の一部を切断する必要があつた。この架台は2号機SGでもそのままの形で利用されることになつてゐるのでできるだけ大きく切断が望まれた。それゆえ架台に対してはできるだけ1体の形で切断するよう工夫がこらされたが、SG本体で最も径の大きい、Na リングヘッダについても管束吊り上げ前に外す必要があつた。このリングヘッダはNa のデストリビューションの確認を水で行なう予定になつてゐたので、写真8(EV側)に示されたように一体の形でSH, EVともに外した。

8) SG本体フランジ(リップ溶接部)切断

管束引抜き前準備として、リップ溶接部の切断が行なわれた。6)項でもふれたようにフランジ間の距離がないため通常の切断工具が使えず、ハンドグラインダの安全カバーを外した状態で、規格外のスキルタッチの刃 260^ϕ をつけ、安全には十分注意しながら切断を行なつた。スキルタッチの刃は摩耗が著しく減つてくると刃先がリップ部にとどかなくなるので、こまめに新しい刃と交換しながら切断が行なわれた。

なお、SH側リップ部には前述のようにNa が入つてゐたため、切断作業時には写真9に示したようにNa が燃えて作業を困難にしていた。

EV側はリップ部にNa が入つてゐることもなく、また材質がクロモリ鋼であつたことからアセチレンガスバーナによる溶断が行なえた。

9) 押しボルトによる管束かさ上げ

管束はクレーンにて吊り上げる前に図16に示したような押しボルト(M48×8本)により50mm程かさ上げを行なつた。

SH側はリップ部の溝全周にNa が入つてゐたせいか、あるいはスキルタッチによるリップ溶接部の切断が完全でなかつたかは不明であるが、押しボルトの回転トルクは大きかつたようである。

EV側は比較的軽いトルクでかさ上げすることができた。

押しボルトにより約50mm程かさ上げされた管束は、その後クレーンにより全体で100mm位吊り上げ、安全に引抜きが行なえることを確認してからSH, EVとも100mmの鋼製台ゲタを噛ませ、翌日の管束引抜きに備えた。

SH側はリップ溝に入ったNa の処理も行なわれた。

10) 管束引抜き

管束引抜きは5月7日に行なわれた。当日は午後1時より管束引抜き風景を毎日映画社により、映画撮影するということで、午後撮影し易い位置にあるEVを、午前中にSHを引抜くよう準備が進められた。

SH側管束は長さが約4.5m(ダウンカマ下端まで3.8m)とEVに比べて1.5m程短いこともある、問題もなく引抜くことができた。引抜き時内部観察された結果は写真10にみられるように比較的綺麗であった。

EV側は映画撮影をしているということもあって何事もないことを祈りながらクレーンによる引抜きが行なわれていったが、200mm位吊り上げられたところで、ステックらしい反応があった。このときはオーバフロー管が管束と多少せり合っている程度に考え、引抜きを続行したが、だんだん抵抗が大きくなっているようであった。そうこうしている間にドーンという(何かがせん断した様な)音とともに管束が僅か浮き上がった感じがし、その後クレーンの巻き上げも軽くなつたようであった。

管束引抜きが困難であった理由は後で解ったことであるが、写真11にみられるように熱電対のサポートをしているV型鋼とオーバフロー管のサポートパイプが誤って交差して現地溶接されたため、管束引上げ時V型鋼によりサポートパイプ($1\frac{1}{2}$ B)が破断したものであった。

このように不則の事態があった場合、その原因を十分究明してから作業を進める心掛けが必要であったことが反省された。

管束引抜きの際のSG内部観察結果は写真12に示したように多少の錆びがみられる程度で、Naは完全に洗浄されているようであった。ただし、管束上部の方には写真13に示したように、炭酸ガスの効果によるものと思われる。白い粉末状の付着物がみられた。吊り出されたSH、EVの管束はその後の解体検査と材料検査に備えて写真14(SH側)に示したようにそれぞれに用意したスキットに立て、ビニール筒で覆い不活性(N₂)ガス霧囲気中で保管できるようにした。

11) 搬出、保管

5月8日管束およびシエル等の搬出が行なわれた。SG室のスキットに立てた状態で保管されていた管束はEV側がNa機器室にて解体検査されるため、機器室の方へ、SHはメーカーにて解体検査されることになり、とりあえずSG室にそれぞれ横置きされることになった。これら重量物の横倒しあはかなり危険を伴うためトラニオンを準備し、これにより横倒しを行なう予定であったが、業者側においてトランニンの基礎工事が面倒であり、作業としてクレーンとレッカ車との共吊りの方が安全であり、能率もよいということで、写真15に示す様な方法にて横置きされた。シエルについても同様な方法で横置きされた。

保管場所はシエルについては図17に示すような管束置場脇に置かれた。シエルは、

管束を抜いた後のフランジ部に薄鉄板を仮り付けし、その上にビニールシートにて雨の吹き込みが起らないよう十分シールを施した。

Na リングヘッダは水流動試験を実施する予定になっており、その際搬出し易いようクレーンが据付けられている（Na 技術部の倉庫管束据付場所脇）に保管してもらった。

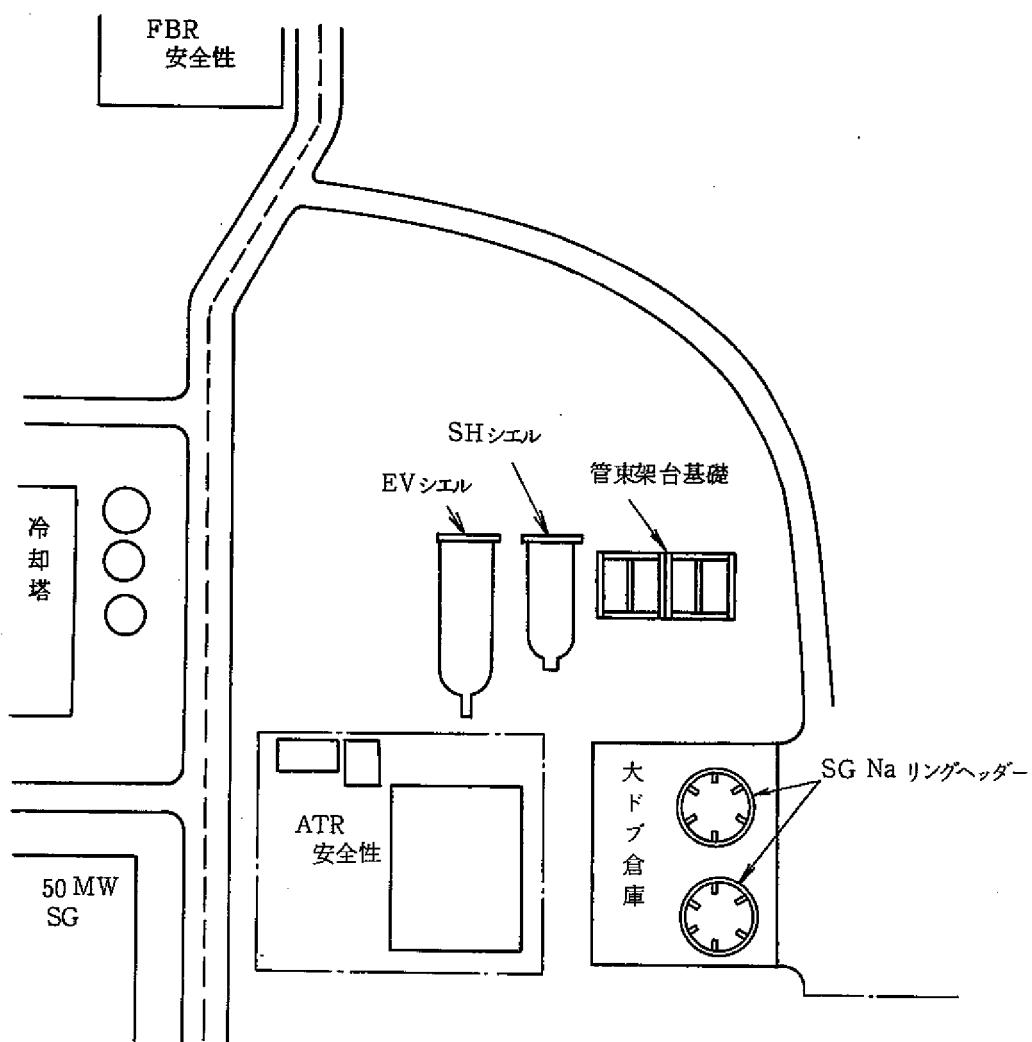


図 17. 解体 SG の置場所

第5章 洗浄作業

5.1 過熱器(SH)のNa洗浄

SG内部の付着Na洗浄にあたっては、まず内部表面積の小さいSH(内部表面積約400m²)の方から洗浄を実施した。

SHは4章で記したように放出系のラプチャーデスク近傍の開口検査により、Naのオーバーチャージによると思われる平面部のNa残留が多く認められていたので充分注意して水蒸気洗浄が行なわれた。

洗浄の方法は3章で述べたが主な洗浄手順としては

(イ) アルゴンガス+水蒸気注入

次にナトリウム洗浄に伴う水素ガスの発生が認められなくなった時点で注入操作を止め

(ロ) 炭酸ガス注入に切替え、潮解液の形でSG内部に残っている水酸化ナトリウム(NaOH)を炭酸ガスとの化学変化により炭酸ナトリウム化を計った。

1) 洗浄準備

第4章で記したように50.4.1~4.14まで洗浄準備としてSH出入口のNa及び蒸気配管、カバーガス配管等を切断して、SHをNa系や水、蒸気系と完全に隔離した後に洗浄用配管、配線工事等を行なった。

水蒸気洗浄前の確認事項としては

(イ) SH内部温度計が作動していること

(ロ) 水素濃度計が正常に作動していること

(ハ) SH内がアルゴンガスで置換してあること

(ニ) 反納収納容器出口弁が「開」となっていること

以上を確認した上洗浄作業を開始した。

なお、水蒸気注入前にアルゴンガスを約20ml/hr流しておきSH内の水素濃度を0%にしておいた。

2) SH洗浄経過

SHの洗浄経過を図18に示した。

経過の主要な事項について以下に記す。

昭和50年4月15日

時 分

10 45 スチームクリーナ起動

11 00 SH内へ上部リングヘッダより、アルゴンガスとともに蒸気注入開始

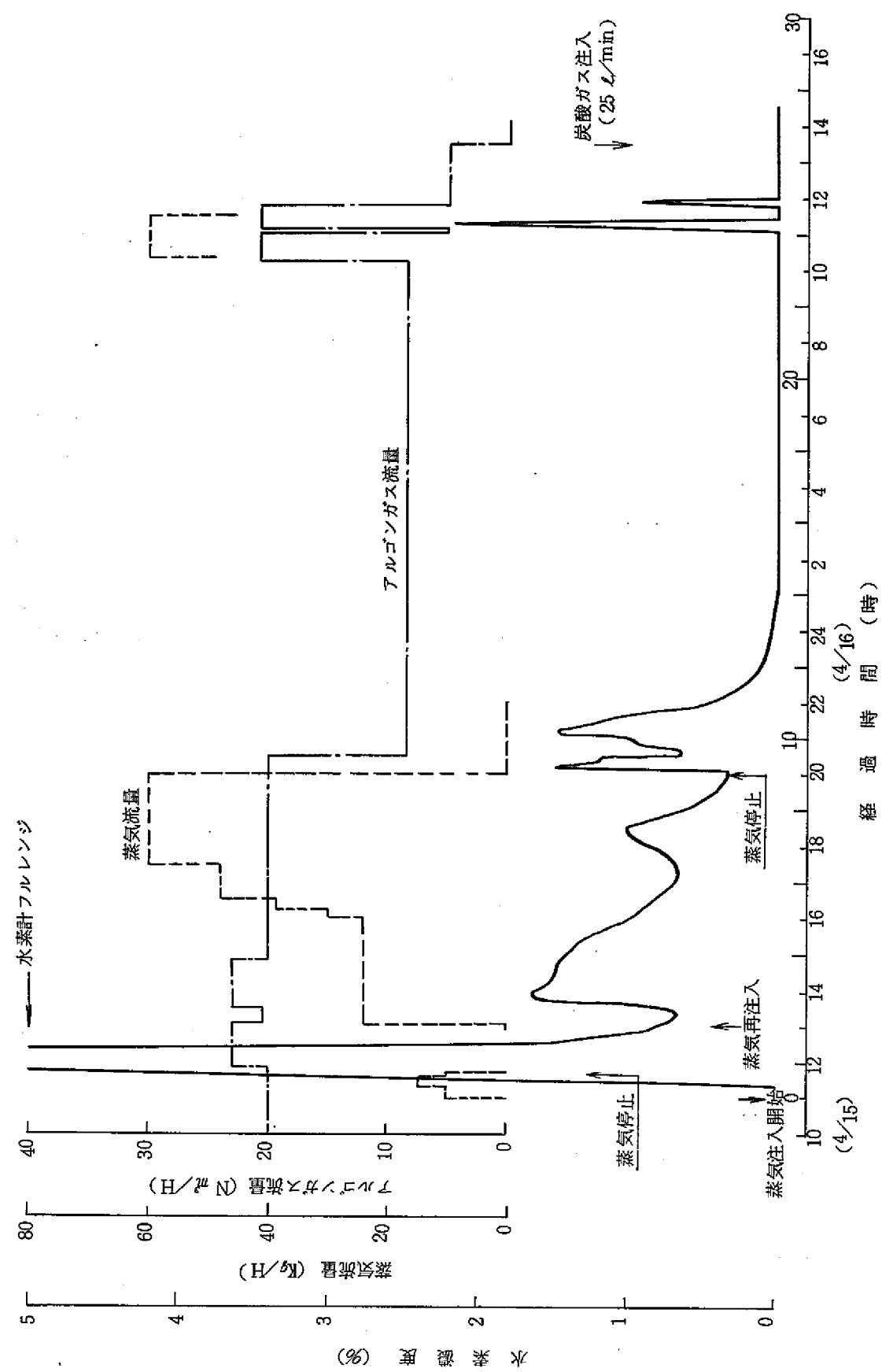


図 18 SH の洗浄経過

11 15 S H 内水素濃度上昇開始
 23 排気管より水蒸気と反応生成物の混在した白煙が確認される
 37 水素濃度 2 %に達す
 41 アルゴンガス流量を上げ ($20 \rightarrow 23 \text{ m}^3/\text{hr}$) , 水蒸気の注入を停止したが水素濃度は 5 %以上となる。

12 15 水素濃度は約 10 % (勾配より求めた) まで上昇し降下開始
 40 1回目の潮解液ドレン ドレン量 0.5 ℥
 49 スチームクリーナ再起動 (出口温度 235°C)

13 00 S H 内に水蒸気注入開始
 30 水素濃度再び上昇, しかし 2 %までは上らず

14 10 S H 内タウンカマ中間部付近の温度が 50°C まで一時上昇する

15 00 2回目 潮解液ドレン ドレン量 20 ℥

16 00 水蒸気注入量増加

17 00 [$12 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 60 \text{ kg/cm}^2$ (max)]
 35 水素ダウンカマの温度が 55°C まで上昇
 濃度検出ライン切替。水素濃度に変化なし (バンド管 → 4B カバーガスノズル出口管)
 50 再び元の水素濃度検出ラインに切替え

18 00 3回目 潮解液ドレン

19 00 4回目 潮解液ドレン
 50 5回目 潮解液ドレン

20 00 水素濃度が 0.4 %まで下ったので水蒸気注入を停止する。停止直後より再び水素濃度が上昇し, まだ多少未反応Na が残存していることがわかる。
 23 水素濃度低下はじめる (1.3 % 0.6 %)

25 6回目 潮解液ドレン
 30 アルゴンガス流量を下げる ($20 \text{ m}^3/\text{hr} \rightarrow 8.5 \text{ m}^3/\text{hr}$)
 下げた直後より再び水素濃度上昇する ($0.35 \rightarrow 1.5 \%$)

21 00 水素濃度降下開始
 24 00 水素濃度 0 %となる。アルゴンガス流量 $8.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ のまま一晩保存

4月16日

10 15 S H 内に水蒸気再注入
 アルゴンガス流量 $8.5 \rightarrow 20 \text{ m}^3/\text{hr}$ 水素濃度上昇せず

11 05 アルゴンガス流量 $20 \rightarrow 5 \text{ m}^3/\text{hr}$ に降下直後水素濃度が 2.1 %まで上昇したが再びアルゴンガス流量を戻したところすぐ 0 %に下る。

15 水蒸気停止したが水素濃度の上昇はみられずこの時点では Na 处理は終了したものとみなす。

13 30 アルゴンガス流入停止 炭酸ガスを流入 ($25 \text{ l}/\text{min}$)

19 30 炭酸ガス流入停止

3) 測定及観測

SH の洗浄にあたって次の項目について測定及観察を行なった。

- (1) SH 内水素濃度
- (2) SH より排出された潮解液 (詳細は 6 章に述べた)
- (3) SH 内部温度
- (4) SH 解体後の洗浄結果観察

(1) SH 内水素濃度

水素濃度記録計にて水素濃度を測定した (図 18 参照)

水素濃度は初期蒸気注入時 ($11^{\circ} 00'$ 注入開始, 蒸気流量 $10 \sim 15 \text{ kg}/\text{H}$) 5%以上の濃度を指示した。

その為, 蒸気注入を停止 ($11^{\circ} 41'$) アルゴンガス流量を増加 ($23 \text{ m}^3/\text{H}$) させて Na + 蒸気の反応減衰を計った。

蒸気注入停止をしてから約1時間20分後, 再度注入 (蒸気量 $24 \text{ kg}/\text{H}$) を開始したが水素濃度は 2 %以上の指示を示さなかった。その後, 蒸気量を $24 \text{ kg}/\text{H} \rightarrow 30 \text{ kg}/\text{H}$ $\rightarrow 40 \text{ kg}/\text{H} \rightarrow 48 \text{ kg}/\text{H} \rightarrow 60 \text{ kg}/\text{H}$ と増加したが, 殆んど水素濃度の上昇はなかった。

$20^{\circ} 00'$ に蒸気の注入を停止した時, 若干水素濃度の上昇がみられたが, その後は 0 %へと下降した。念のため翌日, 約 1 時間再度水蒸気を注入したところ僅か水素濃度の上昇がみられたがまたすぐに下ったのでこの時点で Na の水蒸気洗浄は完了したものと確認した。

(2) SH 内部温度

SH のような熱容量の大きなものについて, その洗浄中の内部温度の変化により Na 处理過程を推察することは困難であった。これは水蒸気の注入温度 (注入口先端にて max 160°C) の経時変化や注入区間の不規則さにより一層不正確な情報となつた。

しかし, 特に SH 内ダウントラップ (フランジ部より 1200 mm 下) の温度記録によると 4月 15 日 14 時 ~ 14 時 30 分および 17 時 30 ~ 20 時にかけて 30°C の温度上昇が記録されていることから, この熱電対近傍の Na が水蒸気反応を起していることが明らかであった。

いずれの温度記録も多少の温度変化 (max 30 °C 上昇) はあるがNa 处理の終了点を推定することは不可能であった。

(3) SH 解体後の洗浄結果観察

SH 解体時に管束部及内部観察ができたが外観的にはほぼ完全なNa 洗浄がなされたことが明確であった。

SH のループからの切離時に確認されていたラプチャーディスク付近のNa (オーバーチャージ時の残存Na と思われSH ではこの付近にもっともNa の付着が多いと思われていた箇所) も完全に洗浄されていた。また内部は蒸気温度 (入口温度 160 °C) による余熱と炭酸ガス流入放出により乾燥状態も完全であった。

5.2 蒸発器 (EV) のNa 洗浄

SH のNa 洗浄が終了したあと

EV にSH と同様な水蒸気およびアルゴンガスの注入配管を施行し、水素濃度検出ノズルも配管された。

なおこの際の水素濃度記録計やスチームクリーナの設置位置は以前と同様であり配管のみが移設された。

洗浄の方法もSH と同じ手順によったがSH と異なり、材質が 2 1/4Cr - 1Mo 鋼を主成分とし、また内部表面積が約 500 m² と大きいため洗浄にはSH より長時間を要するであろうと予測された。

水蒸気洗浄前の確認事項もSH と同様であり、同様手順にてNa の洗浄が 50 年 4 月 23 日より開始された。

1) EV 洗浄準備

SH の洗浄終了後昭和 50 年 4 月 16 日から 4 月 22 日まで洗浄準備としてEV 出入口のNa 配管および水・蒸気配管、カバーガス配管等を切断し、Na 系及び水・蒸気系とEV を完全に隔離した。切断作業と並行して

- イ) 洗浄用蒸気注入配管
- ロ) 排気配管 (5ヶ所)
- ハ) アルゴンガス供給配管
- ニ) 潤滑液ドレン配管
- ホ) 炭酸ガス供給配管
- ヘ) 水素濃度検出用配管 (2ヶ所)

の取付作業が行われた。

2) EV 洗浄経過

E V の洗浄経過を図 19 および 20 に示した。

洗浄前の確認事項は S H の場合と同様である。

E V の Na 洗浄にあたっては、S H と異り内部表面積も大であるところから、S H の Na 洗浄で経験した様な洗浄初期に 5 % を越す水素発生を防ぐため、充分慎重に水蒸気の注入作業を行なった。

そのため水素濃度が 2 % を越すこととはなかったが水蒸気注入時間は累計 26 時間を要し洗浄開始から終了までに 2 昼夜を要した。

経過の主要な事項について以下に記す。

50 年 4 月 23 日 (第 1 日目、水蒸気注入時間 10 時 ~ 22 時 15 分)

時 分

9	30	スチームクリーナ起動
10	00	E V 内蒸気約 $2 \text{ kg}/\text{H}$ 注入開始、アルゴンガス ($22.5 \text{ Nm}^3/\text{H}$) も同時に注入
11	40	1 回目の潮解液ドレン 約 1.8ℓ
13	45	潮解液ドレン (2 回目) 計 6.8ℓ
14	30	水蒸気注入量を $7 \text{ kg}/\text{H} \rightarrow 15 \text{ kg}/\text{H}$ に増加。水素濃度の顕著な上昇はみられず
16	00	潮解液ドレン 計 22.5ℓ
18	55	" 計 85ℓ
18	00	水蒸気注入量 $25 \text{ kg}/\text{H} \rightarrow 55 \text{ kg}/\text{H}$ とする。 水素発生量の増加なし
21	45	潮解液ドレン 計 177.5ℓ (全量)
22	15	水蒸気注入停止

4 月 24 日 (第 2 日目)

9	00	水蒸気注入開始 $60 \text{ kg}/\text{H}$ (max)
10	04	アルゴンガス流量低下 $10 \text{ m}^3/\text{H} \rightarrow 5.5 \text{ m}^3/\text{H}$
11	50	潮解液ドレン (PH: 13.2)
12	58	水蒸気注入一時停止 停止直後に水素濃度が一時 3.65 % まで上昇してまだ Na が残存していることを確認する。
14	20	アルゴンガス流量増加 ($5.5 \text{ m}^3/\text{H} \rightarrow 19 \text{ m}^3/\text{H}$) により水素濃度が減少して来る
20	55	水素濃度 0.4 % まで減少

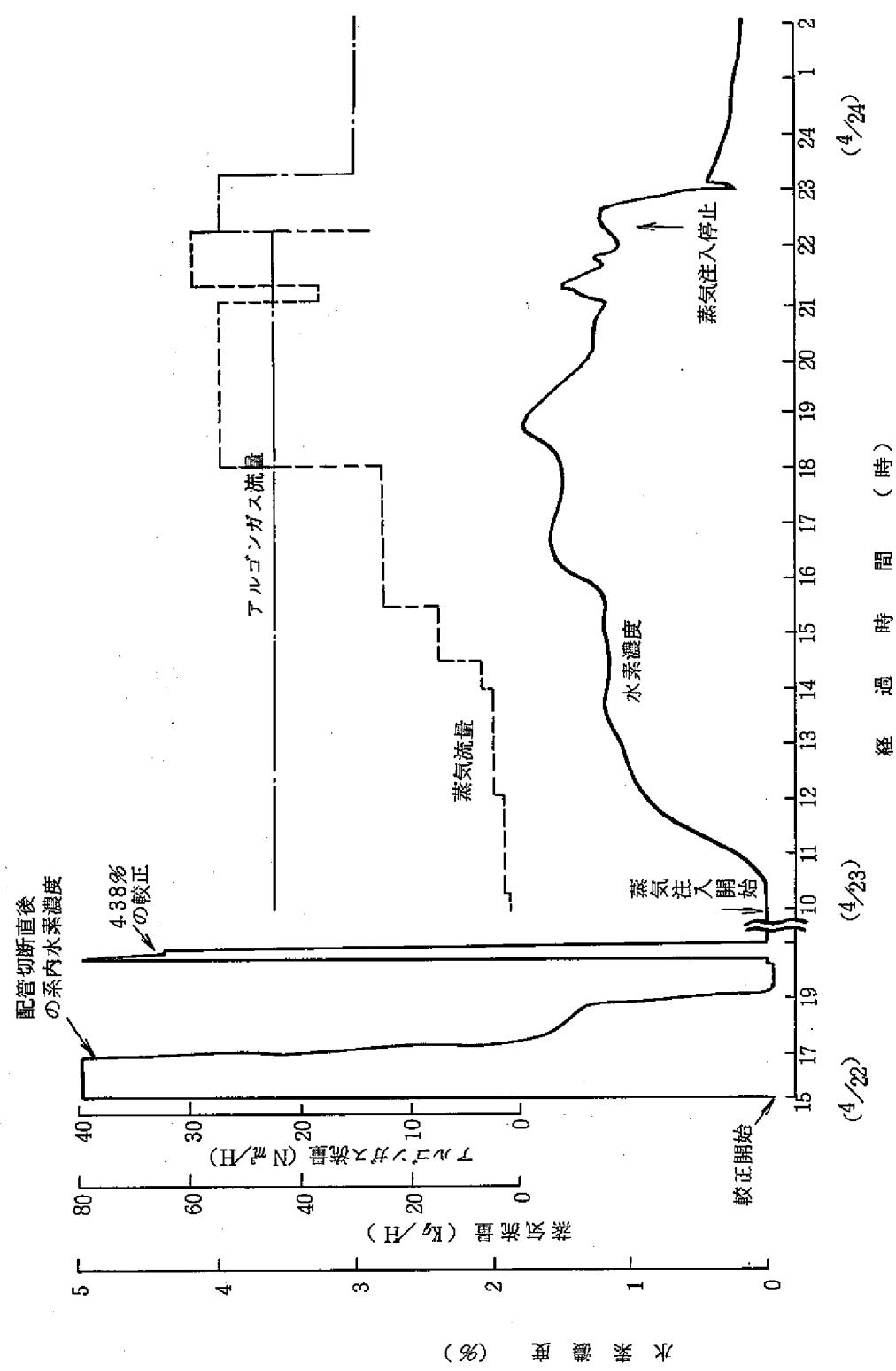


図 19. EV の洗浄経過 (その 1)

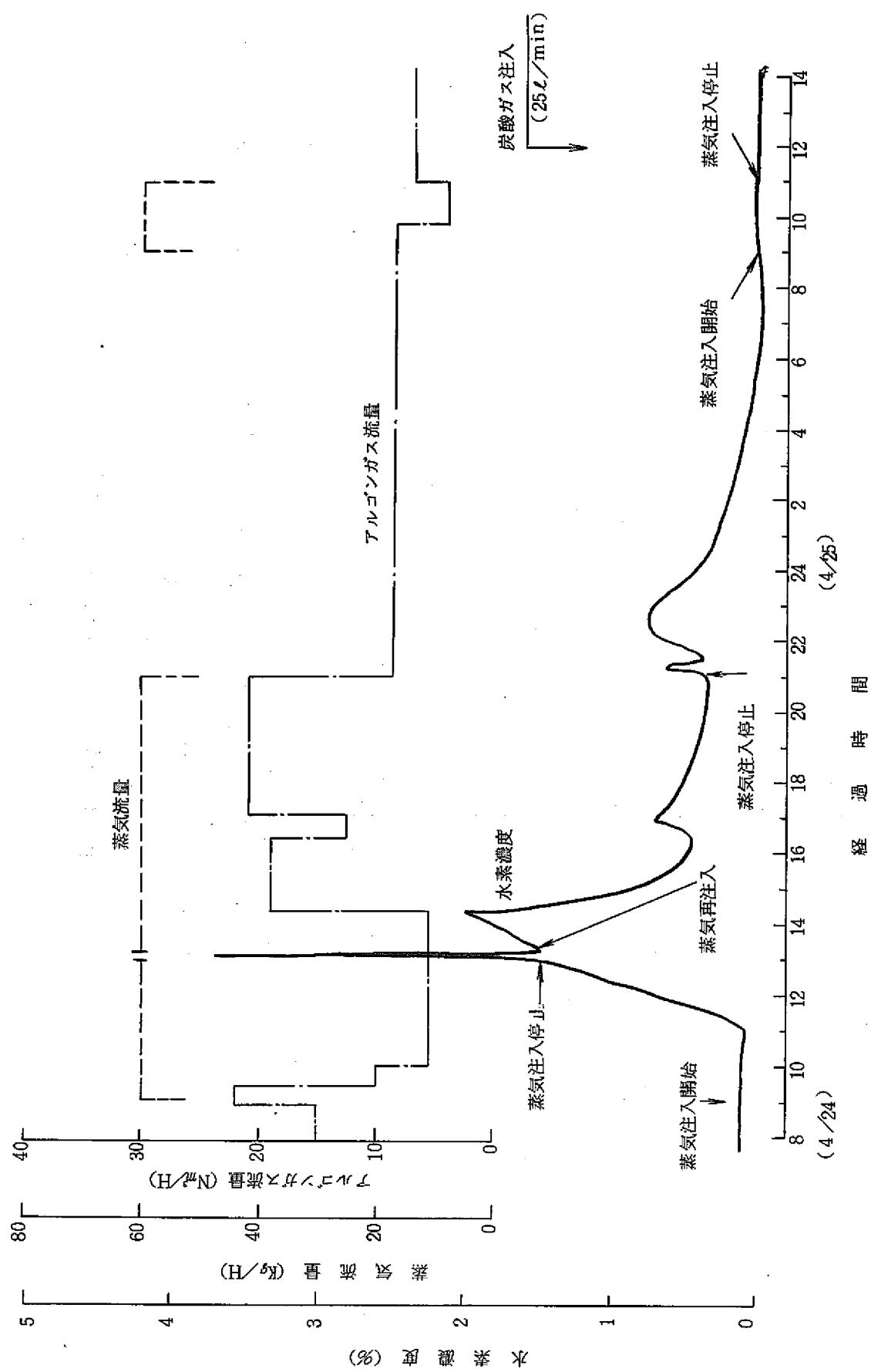


図 20. E V の洗浄経過 (その 2)

時 分

20 55 アルゴンガス流量低下 $21 \text{ m}^3/\text{H} \rightarrow 8.6 \text{ m}^3/\text{H}$
させたが水素濃度の上昇は +0.3 % 増加があるのみで EV 内 Na の残存量が少なくなっていることを確認

4月25日(第3日目)

9 00 水蒸気注入開始 $60 \text{ kg}/\text{H}$ (max)
45 アルゴンガス流量低下 ($8.6 \rightarrow 4 \text{ m}^3/\text{H}$) させたが水素濃度は 0.1 % 以上にならず EV 内の Na はほぼ洗浄したものと推測する。
10 42 水蒸気注入停止 炭素ガス流入開始
17 00 炭酸ガス流入停止

3) 測定及び観察

EV の洗浄にあたって SH と同様に次の項目について測定及び観察を行なった。

- (1) EV 内 H_2 濃度
- (2) EV 潤解液
- (3) EV 内部温度
- (4) EV 解体後の洗浄結果観察

(1) EV 内水素濃度

水素濃度計にて水素濃度を測定した。

初期蒸気注入は SH 洗浄の経験から、水素濃度を出来るだけ上昇させないようにした
その為 2 % 以上の上昇は全くなかった。

◦ 洗浄第1日目

$10^{\circ}00'$ に蒸気注入 ($2 \text{ kg}/\text{H}$) を開始した SH 洗浄と違って水素濃度はじわじわと上昇しただけであった。

$19^{\circ}50'$ に蒸気量最大の $60 \text{ kg}/\text{H}$ 注入したが水素濃度は 1.5 % 最大となっただけで、後に下降を始めた。

$22^{\circ}15'$ に注入を停止して洗浄第1日を終了した。

アルゴンガスは $15 \text{ m}^3/\text{H}$ で保持

◦ 洗浄第2日目

$9^{\circ}05'$ に蒸気注入 (最大 $60 \text{ kg}/\text{H}$) を開始した。

開始する時点既に 0.05 % の水素濃度示指であった。その為アルゴンガス流量を $15 \text{ m}^3/\text{H} \rightarrow 22 \text{ m}^3/\text{H}$ に増加させた。

$14^{\circ}20'$ に水素濃度が 2 % 濃度近くまで上昇したがアルゴンガス流量の増加によ

り低下させた。

21°00'に蒸気注入を停止して洗浄第2日目を終了したアルゴンガスは8.3m³/Hで保持

• 洗浄第3日目

洗浄の最終段階（アルゴンガス+蒸気）として9°07'に洗浄を開始した。注入蒸気量60kg/Hで行ったが既に0.05の水素濃度指示があった。

アルゴンガス流量7.7m³/Hのものを4m³/Hとして水素濃度を見たが上昇はなかったのでEV内のNa処理はほぼ終了したものとみなし10°42'に水蒸気注入を停止し洗浄作業を終了した。その後炭酸ガスを25ℓ/minにて約10時間流入させた。

第6章 解体洗浄結果の考察

解体洗浄結果を SG の主要目とともに表 6 に示した。今回の洗浄結果はこの表や洗浄後の観察結果からだけ判断すると、ほぼ良好な結果であったといえる。しかし洗浄結果の本質である再使用上の問題や材料腐食等の可否を判定するには今後の解体検査および材料検査の結果を待つよりほかないであろう。したがって、ここではこれらに関する考察よりむしろ解体洗浄によってあきらかにされた問題において検討してみた。

6.1 配管切断時の空気混入

Na 出入口配管はいずれも 12 B (318.9°) と大口径のため、その切断の際にはアルゴンガスのバージを十分行なっても配管系あるいは SG 内部へ空気の侵入が考えられた。特に SH においては Na 付着状態を観察するため 18 B の放出系配管を切断しており、より多くの空気混入が考えられた。しかし、SH については配管切断後の SG 内部ガスの水素濃度の測定を行なっておらず、切断に伴う空気混入はあきらかにできない。そこで Na 洗浄前に水素濃度の測定をしている EV 側について空気混入の程度を検討してみた。

SH, EV ともにいえることであったが、Na 出口配管切断のときは配管の切口が下向きのため、空気(分子量: 29)より重いアルゴン(分子量 = 40)ガスの重量落下により、SG 内部には逆に空気が拡散しているようであった。それは Na 出口管切断の際 SG 内圧をほとんど大気圧にしてあつたにもかかわらず、切口の真下において、かなりの勢いでアルゴンガスが噴出しているように感じられたことから考えてもうなづけた。

図 21 は EV 側配管切断後の SG 内部ガスの水素濃度を測定したものである。これは水素計を活かすと同時にアルゴンガス流量を $6.7 \text{ Nm}^3/\text{H}$ 流しながら、その後の水素濃度の変化を記録したもので、最初は計器のフルレンジである 5% をオーバーしている。そのままアルゴンによる稀釈を続けていたら、2 時間後にレンジ内の 4% を指示するようになった。

そこで水素濃度が純粋なアルゴンガス(水素を全然含まないものとする)により稀釈されて指数函数的に減少する。すなわち次式が成り立つとして

$$C = C_0 \exp^{-\frac{A}{V} t}$$

ただし

C : ある時間における水素濃度

C_0 : 初期水素濃度(稀釈前)

V : SG 内容積

A : 稀釈ガス流量

t : 稀釈時間

表 6. SG 主要目と洗浄結果

機器 (期間)	SH (4/15~16)	EV (4/23~25)
運転時間	1100hr (4200hr) ⁽¹⁾	3400hr (4200hr) ⁽¹⁾
材質(伝熱管)	SUS-304	2 1/4 Cr - 1 Mo
概略寸法	2000/1500 × 9400	2200/1500 × 10800
重量	29トン	40トン内SUS-304
内表面積	400m ²	500m ² (内SUS-304) 100m ²
洗浄時間	9時間	26時間
洗浄初期の蒸気 +アルゴン流量	9~15kg/H / 20m ³ /H	2~3kg/H / 20m ³ /H
潮解液ドレン量	300ℓ	1020ℓ
アルゴン消費量	530Nm ³	895Nm ³
ドレン液の最終PH	12.8	12.8
推定Na付着量	6kg	10kg
潮解液沈殿物	約400g	約500g
主成分鉄(Fe ₃ O ₄)		

注 (1) Na 浸漬時間

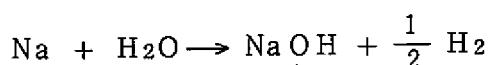
(2) 洗浄後炭酸ガスボンベ3本づつそれぞれ注入した。

したがって、EV の内容積が約 20 m³であるから、配管の切断に伴い発生した水素は

$$C_0 = \frac{4}{e} - \frac{6.7}{20} \times 2 = 4 \times e^{0.67} \div 8 (\%)$$

でガス量にすると約 1.6 m³となる。

この水素がすべて空気中の水分によって、次式のような反応によって発生したとすると



反応に要した水分の量は約 600 g となる。

4月の解体時の気候では空気 1 m³当り約 15 ~ 20 g の水分含有量と考えられるから、多い方の 20 g をとると $600 / 20 = 30$ (m³) となり、これだけの空気が SG に入ったことになる。しかし切断時はアルゴンをバージしているので、前述の逆拡散を考えてもこれは多すぎるように思われる。

以上はアルゴンガスと水素ガスが十分混合しているとして求めたが、図 21 からもあきらかに計算値と実際の水素濃度変化のモードがかなり違つたものになっている。これはアルゴンと水素が分子量で 20 倍も異なっていることから混合が十分でなかつたものと推測される。

これを裏付けるものとして、図 21 の一点鎖線で示されているものは水素計へのサンプルラインが図 7 に示されたように SG 本体の中間からとった場合の記録で、このときは同時刻における点線で示された予想水素濃度より約 $\frac{1}{5}$ 程小さい。この水素濃度が SG 全体の平均水素濃度だとすると、SG に流入した空気量は先に求めた 30 m³ の $\frac{1}{5}$ の約 6 m³ となりほぼ妥当な値といえないこともない。

このように装置の下向きの配管を切断する場合、かなりの空気流入があることが解った。また本施設において Na - 水反応の早期検出用として、ガスクロマトグラフィを設置してカバーガス中の水素検出を行なっているが、正確な濃度検出を行なうためにはこれらサンプリングラインの取付位置等に対して十分注意する必要があることがわかった。

6.2 潮解液に対する考察

洗浄によって得られた潮解液（水・蒸気の凝縮水を含む）は SH で 300 l, EV で 1020 l であった。SH の潮解液は 2 本のドラム缶に EV は 7 本のドラム缶にそれぞれ採取した。この潮解液から塩酸滴定法により反応した Na 量を算出してみた。また潮解液中には沈殿し易い重金属が含まれており、これについても考察してみた。

1) Na 付着量の推定

潮解液を塩酸による中和滴定法により Na の量を求めてみた。

その結果を表 7 に示した。以下その分析法についてあきらかにしておく。

表7. 潮解液分析結果

SH側

サンプリング回数	滴 定	潮 解 液	潮解液1ℓ当りの Na含有量	蒸気注入量
1	4,920 Kg	172.5ℓ	28.52 g/ℓ	
2		127.3ℓ		
約 6 Kg以上			300 ℓ	
EV側結果より推定				

EV側

サンプリング回数	滴 定	潮 解 液		
1 (1~5)	5.589 Kg	180 ℓ	31.05 g/ℓ	
2 (6)	1.150	100	11.5	
3 (7)	0.6934	167.5	4.1	
4 (8)	0.920	200	4.6	
5 (8.9)	0.966	200	4.3	
6 (10)	0.423	87.5	4.3	
7 (11)	0.147	85	1.3	
9.74 Kg			1020 ℥	
				1147 Kg

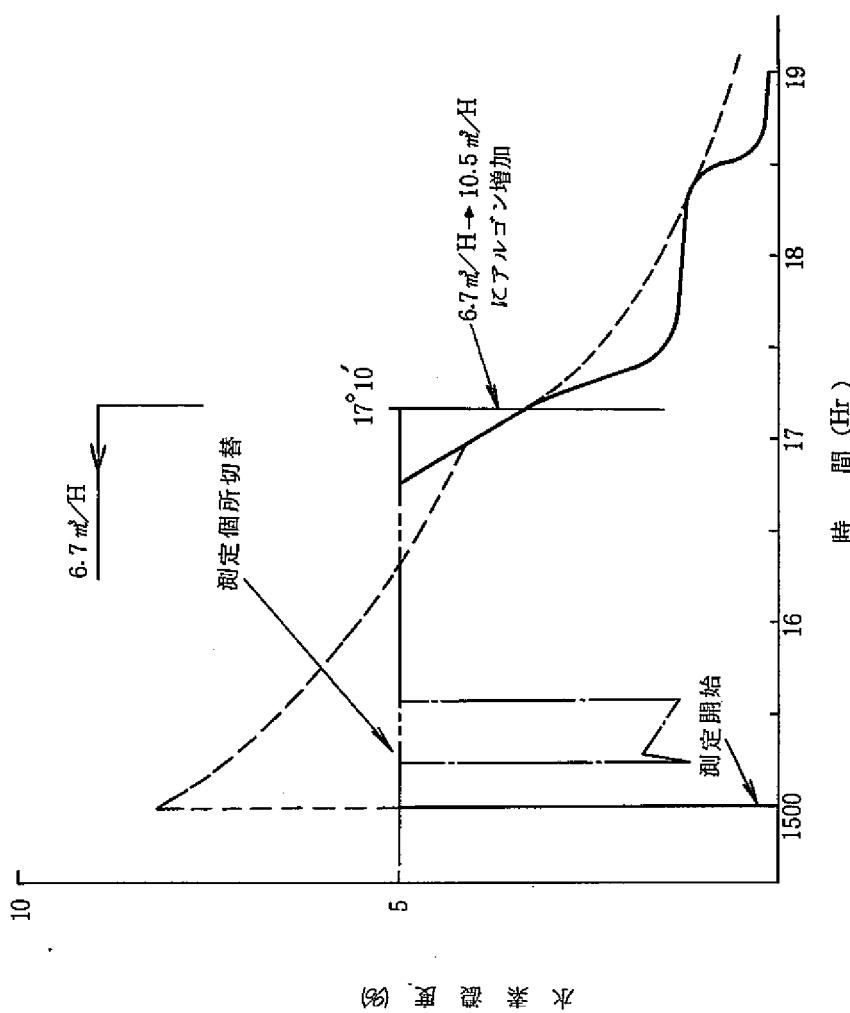


図 21. EV 側配管切断後の水素濃度の変化

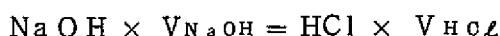
(1) 薬 品

滴定液 : 特級塩酸水溶液 20 ~ 21.0 weight %

指示薬 : フェノールフタレイン水溶液

(2) 分 析

濃度の不明な潮解液（水酸化ナトリウム）がある規定量とり、これにフェノールフタレインを少量入れてやるとアルカリ反応により濃紅色を呈する。それに濃度の既知の塩酸を少量づつ滴定していくと紅色がだんだん薄くなり、中和点で透明になることを利用して、中和点の塩酸滴定量より次式を用いて水酸化ナトリウム（Na OH）のモル濃度を知るものである。



なお滴定はいずれも 5 回づつ行ない、その平均値を用いた。

次に SH の第 1 回サンプル液の分析結果例を示す。

塩酸滴定量は平均 : 2.2 cc (5 回平均)

潮 解 液 : 10 cc

ただし

$$\text{HCl 濃度は } 100 \times \frac{20.5}{100} = 20.5 \text{ g/100cc}$$

$$\text{HCl 分子量} = 36.46 \text{ より } = 20.5 / 36.46 = 0.56 \text{ mol/100}$$

$$\text{滴定モル数は } \left(\frac{0.56}{100} \right) (2.20) = 0.0124 \text{ mol/2.2 cc}$$

したがって、塩酸モル数と潮解液 10 cc のモル数は等価であるから 0.0124 mol/10cc すなわち潮解液 1 cc 当りの Na OH のモル数は

1.24 mol/cc となり、この時の潮解液 173 cc から $173 \times 1.24 = 214 \text{ mol}$ となる。それゆえ、この潮解液に含まれている Na 量は

$$(214) \times (23) = 4920 \text{ g} \text{ となる。}$$

$$\begin{array}{c} \| \\ \text{Na 分子量} \end{array}$$

このようにして、EV についても 7 本のドラム缶に採取した潮解液を分析した結果、合計で約 10 kg となった。SH については第 1 回のドレン水のみしか採水および分析されていないので、EV の分析結果から類推してみると約 6 kg 以上になることは間違いないようであった。この値は洗浄前に予想していた値とほぼ近いものであった。

2) 沈 澱 物

(1) SH 側

SH 側の潮解液は 8 回に分けてドレンされたが、これらは 2 本のドラム缶にて採取された。

第1～6回までが No.1 ドラム罐に 173 ℥

第7～8回までのドレン液がNo.2 ドラム罐に 127 ℥

それぞれドレンされた。総量で 300 ℥の潮解液が採取されたが、このとき蒸気注入量は図18からもあきらかに 357 kg となつた。したがつて蒸気注入量のはば 85% が凝縮水としてドレンされたことになる。

これらドレン水は真黒に濁つており、しばらく放置しておくと分離した。この沈殿物を磁石に吸いつかせて取り除くと完全に澄んだ水溶液となつた。したがつてこの沈殿物は主成分が鉄であると考えられた。

2本のドラム罐にドレンされた潮解液を十分攪拌した状態で採取した試料から全体の沈殿物量を推定してみた。

No.1 ドラム罐よりの採取試料 480 cc

No.2 ドラム罐よりの採取試料 587 cc

のそれを戸紙にて戸して、残つたものを乾燥し、秤量残差より

No.1 ドラム罐については $0.7078 \times \frac{173}{0.48} = 254$

No.2 ドラム罐について $0.6391 \times \frac{127}{0.587} = 138$

で、合計 392 g の沈殿物が得られたことになる。

(2) EV 側

EV 側潮解液は 11 回に分けてドレンされたが、これらは 7 本のドラム罐に表 6 に示すような割合で採取された。このうち秤量に適したサンプル採取ができたのは No.5 ドラム罐にドレンした潮解液のみであった。すなわちサンプルはすべてのドラム罐より採取していたが、沈殿物の秤量を行なうためには沈殿物が分離しないよう十分攪拌した状態で採取する必要があった。No.5 ドラム罐以外はその考慮がされてなかつたわけである。

そこで、No.5 のドラム罐より採取したサンプルが EV の全ドレン水 1020 ℥の平均的沈殿物が採取されたと仮定して、SH 同様秤量を行なつてみた。

まず試料は No.5 ドラム罐より抽出した 287 cc であった。

秤量結果は

戸紙重量 (風袋)	0.8767) この差 0.0519 g
戸紙 + 沈殿物 (乾燥後)	0.9286	

戸さないで直接秤りで測定できたもの

風袋 + 沈殿物	31.7612) この差 0.0881 g
風袋 (受皿)	31.6731	

これからEV より採取された 287 cc 中の沈殿物の重量は $0.0519 + 0.0881 = 0.1401$

タであった。これを潮解液全量に換算すると $0.1401 \times 1020 / 0.287 = 500\text{g}$ となる。

以上、試料の採取には多少問題はあったが、SH, EV の沈殿物を秤量を行なってみた。その結果より次のことがいえるであろう。

- (イ) SG 内部の構材表面には溶出過程の金属が蒸気で洗われないでまた付着したまま残っているものがあると考えられるから実際は上記秤量値よりも多いものと推定される。
- (ロ) これまでの秤量結果を正とすると SG 内表面積より SH, EV いずれについても約 1g/m^2 の割合で構材（錆びなど）が苛性ソーダ溶液により溶出したことになる。
- (ハ) SH 側のステンレス鋼は低温において苛性ソーダ溶液に対して耐性があると考えられているが、クロモリ鋼の溶出量とはほぼ同じであった。これは SH の初期洗浄が急激であったことに起因するのかも知れない。

また溶出物の比重量を 8g/cm^3 として、腐食厚さを計算してみたら 0.125μ となつた。

電中研において、エンリコフェルミ SG の潮解洗浄法の材料に与える影響を知るために、実機模型による予備試験を行なっているが、その結果によれば $0.2\mu/\text{day}^{14)}$ であったと報告されている。

今回の洗浄結果は内部付着量が不明な事と洗浄時間を潮解液にさらされていた時間でとるかなど、電中研の結果とは比較できない点が多い。しかしいずれにしてもオーダ的腐食量はあつてはいるようである。

6.3 本体フランジ（リップ溶接部）へのNa 侵入

4月30日 SH 側のリップ溶接部のテストピース採取時、リップ部溝（図4参照）の全周に Na が侵入していることがあきらかになった。隙間腐食の問題からいって重大であるのでその侵入原因について以下検討してみた。

SG への Na チャージは図22 にみられる様に Na 入口リングヘッダが Na チャージレベルよりかなり高い位置にあるので、この部分にガス留りが生じないよう真空チャージ法がとられている。

Na リングヘッダへ完全に Na を満たすためにはリングヘッダ（ $12\text{B} \times 3\text{m}$ ）および 6 本からなるデストリビュータ（ $5\text{B} - 4\text{m} \times 6$ 本）の全容積が約 900m^3 ほどになるから、通常の運転レベルよりこの分だけ余計にチャージしておく必要があった。それには、胴体（シエル）高さ 10cm 当り約 300m^3 であり、安全をみて管束フランジ面下 150mm まで Na チャージしておけばよかつた。これは通常運転レベル（レベル計では 0mm 指示）より約 400mm 高い位置になり、EV 側の Na 収み上げ用電磁ポンプのトリップ点でもあつた。

通常運転レベルより Na 液位を上げることをオーバーチャージと呼んでいるが、このオーバー

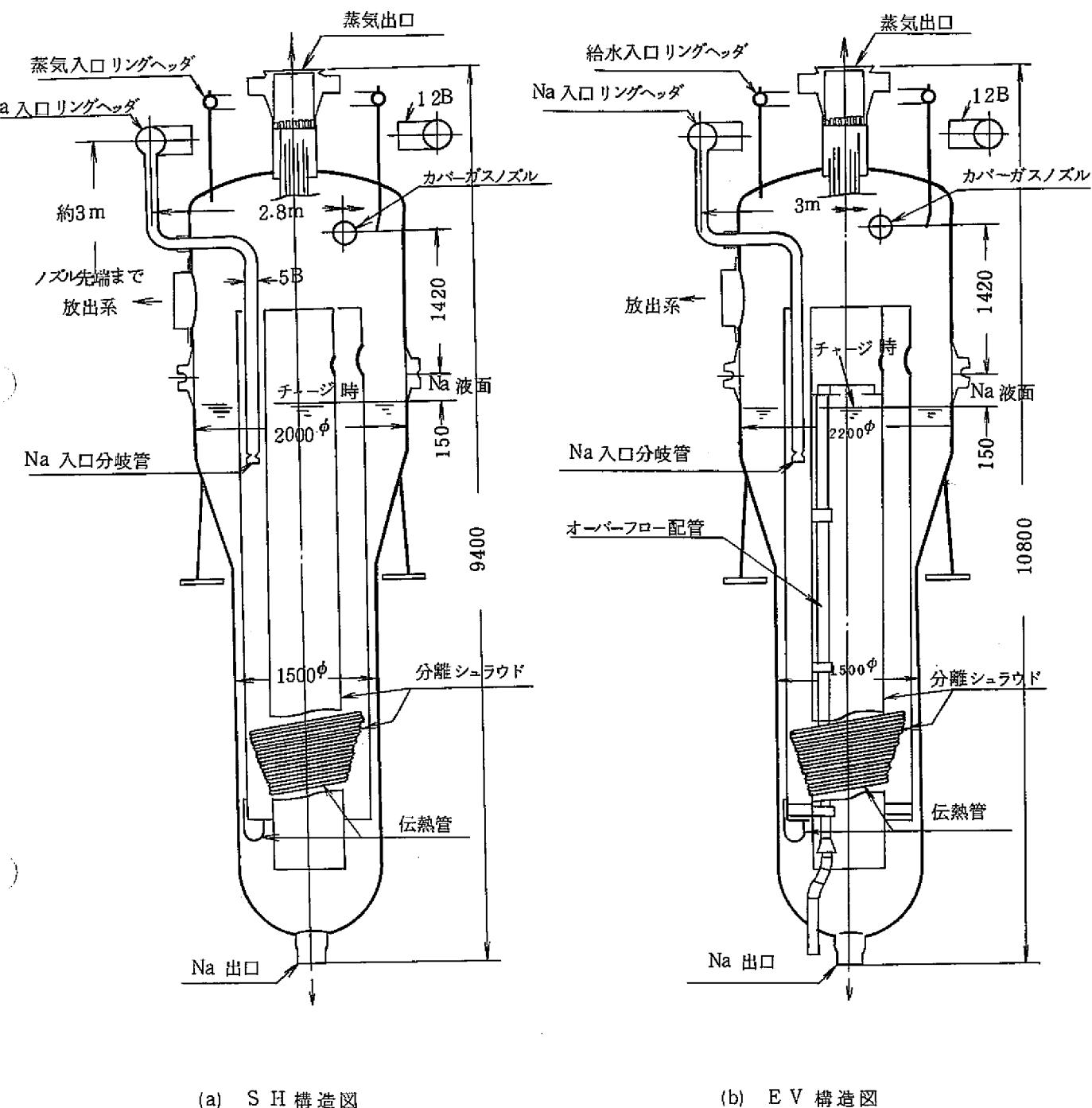


図 22. SG 全体構造と概略寸法図

チャージはSGが真空状態にて、Na汲み上げポンプにより、ポンプがトリップするまで行なわれる。

その後、図23に示したカバーガス操作系によりSGアルゴンガスを供給し、そのガス圧によってNaリングヘッダにNaを押し上げるようにしている。管束フランジへのNa侵入はこの時点では起っているものと考えられた。なぜなら、当試験におけるこれまでのNaチャージ実績は表8の通りであり、その最高到達レベルが運転中を含めても、レンジオーバーしているのは表中の3回しかない。

図24にSHのNaレベルがオーバレンジしたときの1例を示した。汲み上げポンプのトリップは+400mmで起っており、その後のガス操作の際にレベルの急上昇がみられている。この様にガス系操作時にレベルの急上昇が起るのはガス圧のかけ方に問題があったものと見られる。すなわち、図23において、通常のSGへのガス供給はSH-EVの均圧用連絡弁(VA16-30)が開の状態でアルゴン供給弁(VA16-1)を開にしてSH-EV同時にゆっくりガス圧をかける手法をとっている。しかしあ一方、このガス供給系を使わなくても、ストレージタンクとSGの均圧弁(MSV-706)を開にすれば、ストレージタンクにはSGにNaを押し上げるために、すでに約 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 位のガス圧がかけられているのでそのガス圧を利用してSGを加圧することができる。こうすることにより、いずれ系統運転の際、大気放出するアルゴンガスを有効活用できるわけである。しかしこの系統を使った場合、ストレージタンクとSGの圧力差が大きく、配管抵抗も小さいことから、特にMSV-706の開度が大きいとSGは急激な圧力上昇が起る。事実表7の特記事項欄においてあきらかにしたように、9月1、2日の2回のレベル急上昇時には、ガス圧計の記録結果からSGガス圧も急上昇していることがわかった。

なお、表中において、圧力計元弁閉とあるのは高真空時、NaK置換型隔膜式圧力計のダイヤフラムがバッククリングを起すということで、閉にしているもので、到達真空度(1Torr以下にしない)さえ気を付けていれば閉にする必要がないものであった。

SGの圧力急上昇があつてもSH、EV同時であればこの相互間でレベル変動を起すことはないわけであるが、SH側に均圧弁(VA16-30)が入っているのでこれが抵抗となりその分だけSHの液位を上昇させているものと考えられる。図24においてSHの液位が上昇のとき、EVは降下している。これによるSGフランジ部へのNaの侵入は真空中でもあり、十分あり得ることがわかった。ただし当然ながらEVリップ部にはNa侵入は全然みられなかった。

図25はループ系を含めたNaレベルとカバーガス系ノズル等の位置関係を示したものである。SHのレベル急上昇が起った直後のSG運転において、いずれの場合もガス系の一部が閉塞するというトラブルが起っている。いくらNaレベルに変動があったにしてもレベル

表 8. Na チャージ時の SH Na レベルの変動状況

チャージの月日	最高到達レベル	特記事項
昭49. 6月 24 日	+ 400 mm	
7月 13 日	+ 370	1時間かけてガス圧をゆっくり上昇させている
9月 1 日	+ 450	1→2次系へNa 移送
9月 2 日	+ 450 } オーバー	加圧再チャージ
9月 11 日	~ 10月 11日 運転休止期間	EV ガスクロ用ベーパトラップ閉塞
10月 14日	+ 430	30分かけて圧力上昇している
12月 6日	+ 430	11/13 EV ガスクロ用ベーパトラップヒータ保温施行 Na K 置換式圧力計元弁閉にて真空
昭和50 1月 17日	+ 450 オーバー	圧力計元弁閉 急激に圧力上昇したとみられる
1月 27日	+ 360	30分位かけてゆっくり圧力上昇
3月 6日	+ 415	圧力計元弁閉

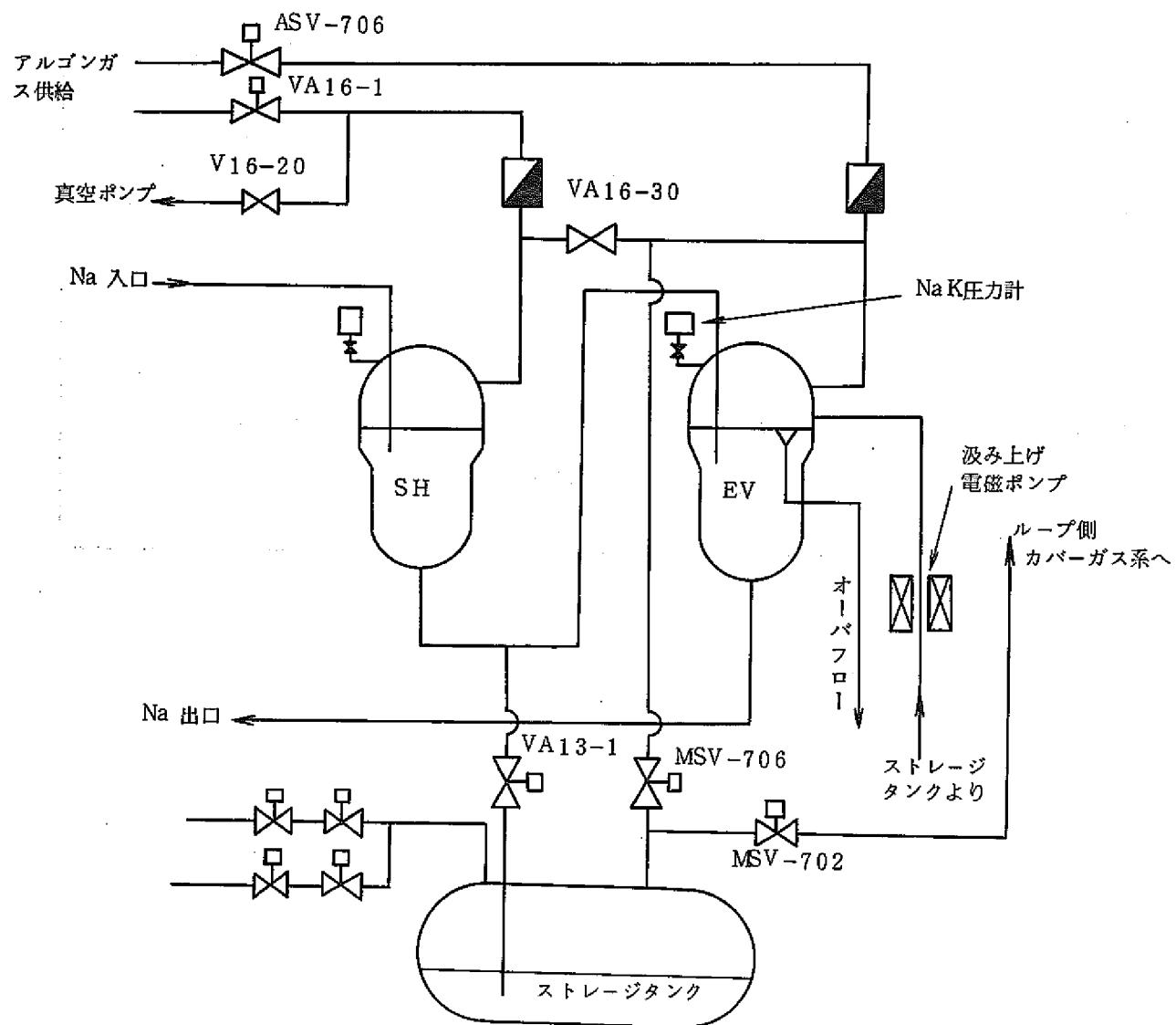


図 23. Na チャージ時カバーガス操作系

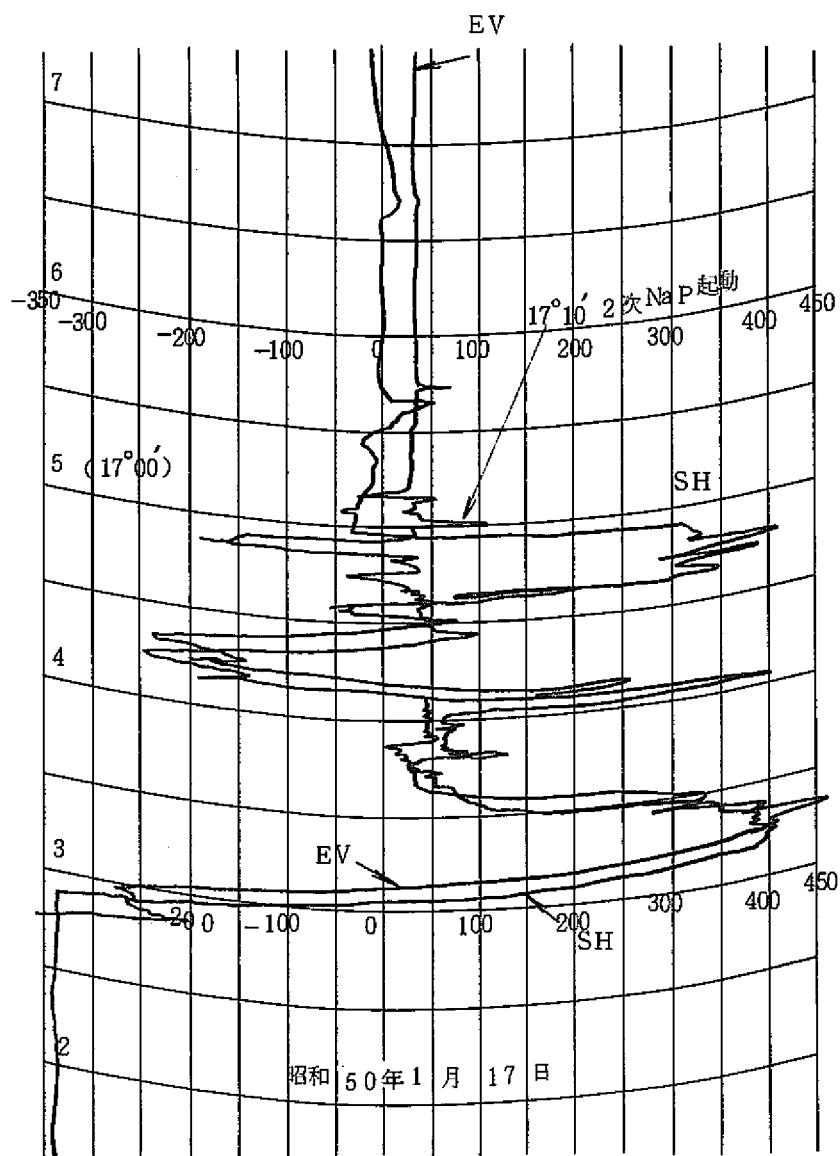


図 24 SH 液位計がレンジオーバした例

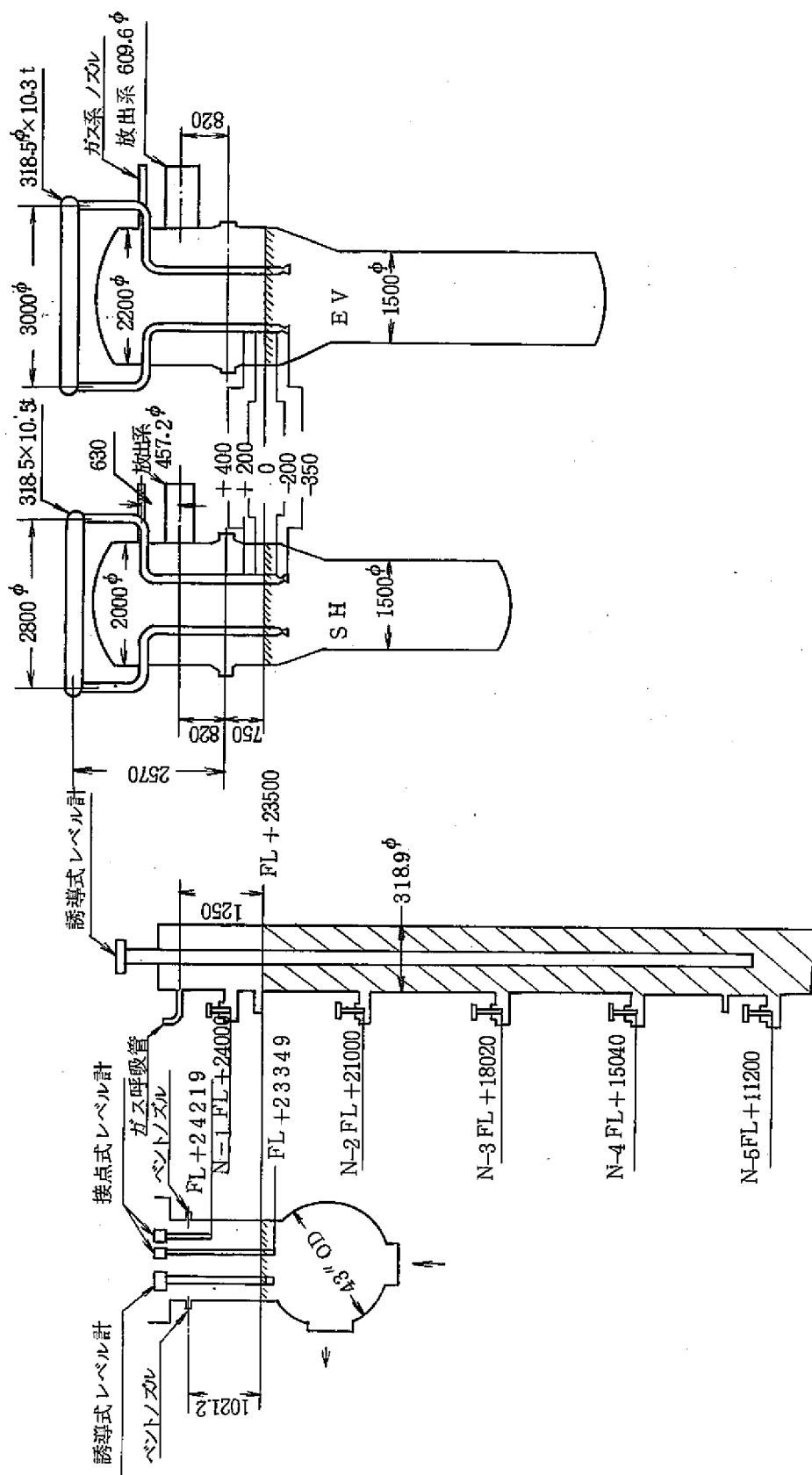


図 25 2 次系各機器と Na 自由液面のエレベーショ

計の範囲内における変動であれば、Na の絶対量から考えて、カバーガス系ノズルまで Na レベルが上がることはある得ないことである。しかし現に閉塞があったということは局所的に Na の波立ちがあり、それがガス系に侵入したとしか考えられない。

解体時にはSH側のガスクロ用ベーパトラップの底部に約10mm位の層になったNaが入っていたのもあきらかになっている。また参考までに2号機SGのフランジシール方法とカバーガスノズルを含めた位置関係を図26に示した。このSGではいくらNa液位の波立ちがあったにしてもフランジ面まで達することはないかも知れない。しかしカバーガスノズルは比較的低い位置についているのでカバーガス系にNaが入り込む恐れが充分ある。運転には十分注意する必要があろう。

6.4 アルゴンガス消費量

50 MW施設におけるアルゴンガス装置は液化アルゴンをベーパライザで気化して使用している。この液化アルゴンタンクのレベル変化から、SH およびEV の洗浄に要したアルゴン量を算出してみた。なお先述したように、洗浄ガスとして窒素ガスが多量に使える施設があれば必ずしもアルゴンを用いる必要がなかったことを付記しておく。(SH, EV 洗浄に要したタン

液化アルゴンを常温、常圧のもとで気化したとすると液体 1 ℥は
気化ガスにして約 800 倍となる。これより SH, EV それぞれの
洗浄に要したアルゴンガス量は気化ガスにて

$SH = 530 \text{ Nm}$, $EV = 895 \text{ Nm}$ であった。

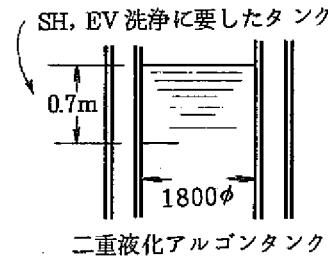
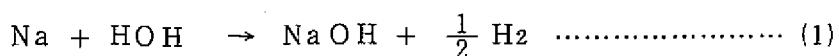
このうちNa洗浄に要したアルゴン量は、洗浄記録結果の図18, 19, 20から、SHが250N_m³、EVが680N_m³である。したがってSHの280N_m³とEVの215N_m³は配管切断やSG内の水素ページの際に消費されたものと考えられる。

これらのガスをアルゴンボンベで購入した場合は現在の購入価格で1㍑当たり、900円であるから約130万円かかることになる。液化アルゴンでは180円/kgであり消費重量2500kgより45万円となる。このようにボンベの値段の約1/3ですむことになる。

この様に多量にアルゴンを消費する場合には液化アルゴンが有利であることがわかる。ただし、液化アルゴンタンクでは、使用しない場合でも日に0.2%位は自然に消耗しているといわれている。

6.5 炭酸ガスによる洗浄効果

ナトリウムをアルゴンガス中で蒸気洗浄した場合、酸素や高温ナトリウムが存在しないと考えられるから、その反応は



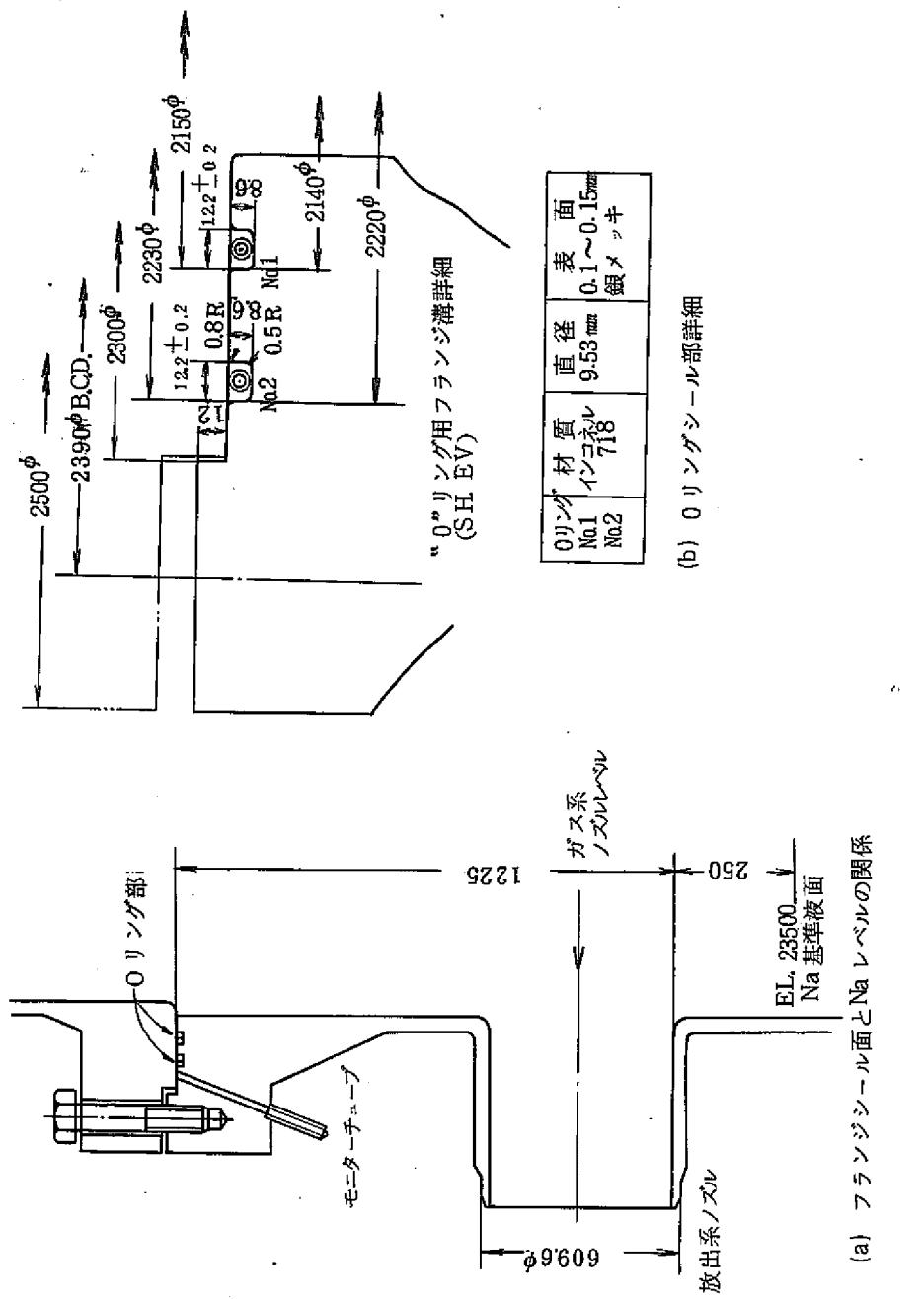
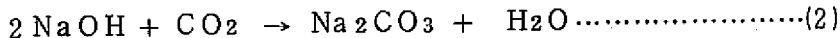


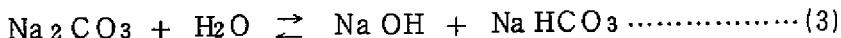
図 26. 2号機 SG の管束フランジのシール方法

のみであるといえる。

ここで生じた水酸化ナトリウムに炭酸ガスを注入すれば



の反応により炭酸ナトリウムと水ができる。したがってここで発生した水により次のような反応も考えられる。



この反応は可逆平衡式で表わされるものであり、PHが高い場合（約11以上）には、左に反応が進むといわれているので、除湿を行なわれればアルカリ腐食の原因となる水酸化ナトリウムはほとんど除去可能なようである。

この様に炭酸ガスの注入効果を高めるためには(2)式であきらかに水酸化ナトリウムが炭酸ナトリウムに変わると生ずる水分を何らかの方法で取り除き、その反応を右に進行させ、(3)式に進まないようにするのが最も効果的なようと考えられる。ただしその脱湿法として予熱ヒータを用いることは図6に示したような水酸化ナトリウムの固化濃縮により材料上好ましくないとともに(2)式の反応も起りにくくなると予想されるので、避けた方がよいようである。

なお、今回のナトリウム洗浄後の炭酸ガス注入は洗浄蒸気を停止した直後であり、その蒸気の余熱効果により被洗浄体の内部は暖かかった。（温度記録結果によれば50°C前後であった。）このため炭酸ガス注入による適当な反応の促進と排気ガス（炭酸ガス注入に伴う排気）による脱湿効果があったものと期待できる。

これを裏付けるものとして管束搬出時採取した白い結晶の固りを塩酸に入れてみたところ
次のような形で



炭酸ガスとみられる急激な発泡がみられた。

以上の考察により、炭酸ガスによる上記洗浄効果は大であったといえる。

第7章 結 言

ナトリウムの付着した大型機器ということで、初めての試みであったが、SGを1体のままループより隔離し、組立てられたままの状態でスチーム+アルゴン洗浄を行った。洗浄の結果は比較的良好であったが、リップ部のような非常に狭い隙間にに入ったNaは全然洗浄できなかつた。

管束の解体は寸法および材料検査などのための切り出しを6月初旬頃より行なうことになっている。この時点になれば洗浄結果の可否をある程度判定できると思うがいずれにせよ前述のようにビスマ部など狭い隙間のNa洗浄は不可能であったと考えられる。

以下今回の解体、洗浄の結果を要約すると次の通りである。

- 1) SHの潮解液には約400g, EVには500gの高濃度アルカリ溶液にて溶出されたと思われる重金属の沈殿物が抽出された。沈殿物のほとんどが磁石に吸い付くことから鉄(Fe₃O₄)が主成分であったと考えられた。またこれから減肉厚を算出したら、0.125μ以上となり、アルカリによる腐食効果は少なからずあったといえる。
- 2) SH側洗浄の際、初期蒸気注入量が多すぎたため急激な反応が起り水素濃度も5%を越えてしまった。初期の蒸気注入はできるだけ少なくした方がよいことがわかつた。(蒸気量2kg/H前後)
- 3) 蒸気洗浄後の炭酸ガス注入は理論的には充分効果があるということがわかつたが、実際の効果の程は定かでない。管束引抜き時、白い紛が採取でき、これが炭酸ソーダであるという確認が得られたことから多少効果があったと考えられる。
- 4) 潮解液の滴定によりSHにおいて6kg, EVにおいて10kgのNaが付着していたと推定された。内部観察の結果では最もラブチャデスクに多く付着していた。(写真3参照)これはNaのオーバチャージとの関連もあり、Na蒸気によるものはさほど多くはなかつたと考えられる。

以上のように、今回の洗浄結果は良好であった。さらに材料試験結果に問題がなければ本方法は今後の大型機器洗浄の有効な手段の一つとして活用できるであろう。ただし機械式ポンプのようにネジ類など非常に狭い隙間の多い機器への応用は充分な検討をするであろう。

なお今回の洗浄計画において、次のものは計画はあったが実施されなかつた。その理由をあきらかにしておく。

- (1) 予熱温度を120°Cの状態で洗浄予定していたが、Na付着量が少なかつたこと、また潮解液の固化(図6参照)が心配されたこと、排気系にアルカリ濃度の高い溶液が多量に搬入されるなどの問題を避けるため予熱をとり止めた。

(2) 蒸気+アルゴン洗浄後蒸気のNaに対する活性化を高めるためアルゴンの代りに空気を注入する予定にしていた。これは予熱なしでNa洗浄した場合、蒸気が凝縮し易く、これによる反応は非常に活性であり、これだけで十分Na洗浄は行なえると考え空気の送入は中止した。また空気送入は機器の錆びの原因になると考えられた。

今後、検討が必要と考えられた問題は

(1) 洗浄液の最終PH値は12.8程度であった。このPH値はできれば10前後まで下げたいと考えていたが、工程上の問題があつてこの程度の値にて終ってしまった。水洗浄をも含めて、この辺の検討を今後行なつておく必要があろう。

(2) EV側管束引抜き時現地溶接した個所に問題があつたが、その溶接施行について、実際に溶接を行なつた者以外に誰も確認していなかつたのは不注意であった。幸い事なきを得たが今後十分気を付ける必要がある事柄であるとの認識を得た。

さらに今後の課題としてはNa洗浄時の潮解液やSG補修時の空気との自然潮解により生じた水酸化ナトリウムあるいは伝熱管水リーク事故などSG構造材が水酸化ナトリウムに接する機会は非常に多いが、水酸化ナトリウムが構材に与える影響についてはまだ知らない問題が沢山ある。1MWSGは2回のリーク事故を起し、その補修の際完全にNaが潮解してその溶液に浸漬したSGをその後約10000時間運転した実績がある。このSGは今回50MWSGと同様の洗浄法にて洗浄され、材料試験されることになっている。これらの結果がでれば潮解液が構材に与える影響や再使用上の問題などもある程度あきらかにされるものと考えられる。

なお最後に今回の50MWSGの解体洗浄にはSGの製作メーカーである日立製作所より解体工事の指導として小田部千城氏を派遣して頂き工事をスムースに進めることができた。また本文でも触れたように本工事を直接担当（契約：中島製作所）された日立設備工業株式会社の派遣作業員の質の高さが納期短縮につながったと考えられる。また本文作成に当つて、潮解液の性状などについていろいろご指導をいただいたNa技開分析室の高荷室長代理など多くの方のご指導ご協力をいただいた。紙面をかりて厚くお礼申し上げる。

第8章 文 献

1. 土屋他 ; 50 MW蒸気発生器試験結果速報
社内報 Z N 9 4 3 - 7 5 - 0 1 1975年1月
2. 久保田他 ; 50 MW蒸気発生器不安定現象・最低負荷試験結果
(第1報, 第1期試験結果速報)
社内報 Z N 9 4 1 7 5 - 0 7 1975年2月
3. 山下他 ; 50 MW蒸気発生器試験施設動特性試験報告書
第1報 試験全般 S N 9 4 1 7 5 - 3 0
4. 丸山他 ; 同 上
第II報 機器単体制御性試験 1975年5月 S N 9 4 1 7 5 - 3 1
5. 山下他 ; 同 上
第III報 Na液面制御性試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 3 2
6. 角山他 ; 同 上
第IV報 蒸気発生器開ループ動特性試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 3 3
7. 中村他 ; 同 上
第V報 プラント制御性試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 3 4
8. 中村他 ; 同 上
第VI報 周波数応答性試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 3 5
9. 丹治他 ; 同 上
第VII報 コールドショック試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 3 6
10. 森 他 ; 同 上
第VIII報 外部電源喪失事故模擬試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 3 7
11. 中村他 ; 同 上
第IX報 蒸発器出口蒸気温度制御性試験結果速報 S N 9 4 1 7 5 - 4 2
12. 金森他 ; 1 MW蒸気発生器解体洗浄工事報告書
社内報 S N 9 4 1 7 4 - 2 4 1974年5月
13. 斎藤他 ; ナトリウム習得技術のまとめ
社内報 N 9 4 1 7 4 - 4 9 1974年4月
14. エンリコ フエルミ 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
15. IAEA Specialist meeting (1973, Dourenay)
16. 日 挿 ; 高速実験炉燃料のナトリウム洗浄に関する試験研究 - II
PNC 依託研究 1971年3月

この頁は PDF 化されていません。
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理
担当箇所で原本冊子を参照して下さい。