

1 MW蒸気発生器解体洗浄工事

報 告 書

1974年5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)

1 MW 蒸気発生器解体洗浄工事

報告者 金森和士* 永瀬進*
保田仁司* 本名竹雄*
八木沢秀治* 土屋毎雄*
山田栄吉* 佐野彰*

期間 1971年10月7日～1972年7月31日

目的 第1次1 MW蒸気発生器の解体洗浄工事を行なって得られた経験を取りまとめ報告し関係各位の参考に給する。

要 旨

第1次1 MW蒸気発生器は約3600時間の運転後初期の目的を達成し無事運転を終了した。今後実際の条件での運転を経験した蒸気発生器についての構造上および材料上の問題点を解明するために諸検査および材料試験を行なう予定であるがそれに先立ち解体洗浄工事を実施した。その結果は極めて順調でありほぼ計画通りに行なうことができた。これは我国における大型ナトリウム機器の解体・洗浄の初めての試みであり多くの貴重な経験を得ることができた。その過程で次の点が明らかになった。

- 1) その直前に高温(400～450℃)状態で循環運転することによりSGからのナトリウムドレンは完全に近い状態に行うことができた。
- 2) SGまわりの配管においてはわずかに残留ナトリウムが認められた。配管勾配の1/100の値について検討の必要がある。
- 3) 管束部の引き抜きは熱変形等の問題なくスムーズに行われた。
- 4) カバーガス領域におけるナトリウムの蒸着は激しかった。この点については今後十分な検討が必要である。
- 5) 液面計、ナトリウムデストリビュータの先端部、ダミー伝熱管ダウンカマ下端部等に曲り、振れがみられた。
- 6) 伝熱管、ライナ、内胴等に一様にザラザラした感じの黒色の付着物が認められた。

Dismontle and Cleaning of 1MW Steam Generator

A. Kanamori*
H. Yasuda*
H. Yagisawa*
E. Yamada*
S. Nagase*
T. Honna*
T. Tsuchiya*
A. Sano*

Abstract

After 3,600 hours operation, 1 MW Steam Generator was Stopped and conveyed in parts and sodium in SG was cleaned successfully. This was the first experience in Japan and a lot of useful informations wer obtained as follows about the dismontle of large scale sodium component.

- 1) By circulation of high temperature sodium (400 450°C) before drainage, the sodium was drained from SG almost perfectly.
- 2) In sodium pipeing near SG, there remained a little sodium.
- 3) Tube bunddle was pull out smoothly from SG without any troubles.
- 4) There was a lot of condensed sodium in cover-gas region.
- 5) The top of sodium level ditector and sodium distributor, and the bottom of downcomers dummy tube were bended and distorted.
- 6) There was a lot of black powder on the sureface of tube, liner and inner shroud.

* 1 MW Steam Generator Test Facility

目 次

1. ま え が き	1
2. S Gの構造と解体上の問題点	2
3. 解 体 手 順	8
4. 解体工事状況	14
5. 工 程	26
6. 解体、洗浄に使用した特殊治工具	28
7. 寸 法 検 査	32
8. 解 体 所 見	51
9. あ と が き	53

添付資料：1MW蒸気発生器解体所見

図表写真リスト

表 1	解体洗浄工事工程表	27
表 2	ディストリビュータの変形量	33
表 3	ダウンカマ下端部変形量測定結果	34
表 4	上昇管直管部の変形測定結果	38
図 1	1 MW蒸気発生器本体図	3
図 2	1 MW蒸気発生器の内部構造	2
図 3	伝熱管部の詳細	5
図 4	内胴上部詳細	5
図 5	引抜き用ガイド部詳細	6
図 6	ライナの取り付け状態	6
図 7	誘導式液面計の保護管とガイド管	7
図 8	解体手順の概要	11
図 9	加熱真空ドレン用ガス加熱設備	14
図 10	アルマン加熱器温度測定位置	14
図 11	蒸気発生器ラプチャーデイス下部のナトリウム付着状況	16
図 12	SGベースプレートひきぬき要領	17
図 13	SGピット内挿入後のSG固定法	18
図 14	誘導式液面計のSGとりつけ状態	18
図 15	誘導式液面計の変形状態	19
図 16	蛇腹内雰囲気アルゴンガス置換	20
図 17	ダウンカマの曲がり状態	21
図 18	管束部屋外搬出方法	22
図 19	液面計挿入用スペーサの洗浄	23
図 20	ライナ引抜き方法	24
図 21	管束引抜き用蛇腹の構造	28
図 22	SGフランジ押しボルト	29
図 23	解体洗浄用ターニングリング	29
図 24	洗浄用ローラおよび受台	30
図 25	可搬式雨よけ小屋	31
図 26	ダウンカマのサポート間寸法	32

図 27	ダウンカマ変形測定法	3 2
図 28	デイストリビュータ変形測定位置	3 3
図 29	デイストリビュータの変形量	3 3
図 30	ダウンカマ下端部変形量の測定	3 4
図 31	コイルピッチ測定位置	3 5
図 32	コイルピッチ変形測定結果 (a)	3 6
図 33	" (b)	3 7
図 34	上昇管直接部の変形測定法	3 8
写真 1	1 MW蒸気発生器の外観	4
写真 2	1 MW蒸気発生器の内部措置 (1)	3 9
写真 3	" (2)	3 9
写真 4	" (3)	3 9
写真 5	" (4)	3 9
写真 6	アルゴン加熱器	4 3
写真 7	アルゴン加熱装置据付工事	4 3
写真 8	S G頂部の様子 (1)	4 3
写真 9	S G頂部の様子 (2)	4 3
写真 10	放出系切断作業	4 3
写真 11	S Gナトリウム出口管	4 3
写真 12	S Gナトリウム出口管の切断時の状態	4 1
写真 13	放出管フランジ取りはずし作業	4 1
写真 14	破壊板の盲蓋との取りかえ作業	4 1
写真 15	ラブチャーディスク	3 9
写真 16	真空サポート (外側)	3 9
写真 17	真空サポート (内側) の付着ナトリウム潮解状況	3 9
写真 18	ラブチャデスク下部のナトリウム付着状況 (1)	3 9
写真 19	" (2)	3 9
写真 20	S Gペースプレートひきぬき作業	4 1
写真 21	S Gピット内挿入開始	4 1
写真 22	S Gピット内挿入終了	4 1
写真 23	S Gピット内挿入後の S G固定点	4 1

写真 24	誘導式液面計の引き抜き直後の状態	4 1
写真 25	フランジ部開口作業	4 7
写真 26	押しボルトによるフランジ浮かし状況	4 7
写真 27	S G管束引抜き用蛇腹の仮組立	4 7
写真 28	蛇腹取付け作業	4 7
写真 29	管束部引抜き用蛇腹取付完了	4 7
写真 30	SG管束引抜き状態	4 7
写真 31	蛇腹とりはずし状況	4 5
写真 32	管束部露出終了状況	4 5
写真 33	内胴頂部	4 5
写真 34	グラインダ仕上げ部の様相	4 5
写真 35	管束部下端（ダウンカマ下端部の変形の状況）	4 5
写真 36	管束部搬出状況（1）	4 7
写真 37	〃（2）	4 9
写真 38	管束部搬出用治具取付	4 9
写真 39	管束部のNa処理室への運搬	4 9
写真 40	蒸気洗浄状況	4 9
写真 41	S Gミュール内部ライナ表面の状態	4 9
写真 42	分離シュラウド切断状況	4 9
写真 43	分離シュラウド切断直後の状態	4 5
写真 44	伝熱管コイル部表面	4 5
写真 45	ライナータガNa付着状態	4 9
写真 46	ライナー引抜き作業状況	4 9
写真 47	ライナータガ部Na付着状態	4 5
写真 a	内部シュラウド上部残留ナトリウム	6 3
写真 b	伝熱管固定部	6 3
写真 c	下降管下部（A管）	6 3
写真 d	下降管下部（B管）	6 3
写真 e	下降管下部（G）	6 3

1. ま え が き

1 MW 蒸気発生器（以下 SG）は昭和46年6月16日に始めてナトリウムがチャージされて以来、昭和47年4月28日までの間に3550時間の運転を行ない、その所定の性能試験を実施し運転を終了した。

引き続き50MW SGに対するフィードバックの一端としてSG製作技術の是非、問題点の有無を確認し、併せてSG構造材のナトリウム中における材料の挙動についての評価を行なうため解体検査を行なった。

SGのように大型かつ構造の複雑な機器の解体及び洗浄は我が国では未経験のものでありそれ自体がR & D的要素を含んでいるといえる。従ってこのたびの解体洗浄に対しては、解体のための手順、必要治工具、作業内容、安全性の確保等に種々検討を重ね万全を期して行なった。解体、洗浄工事（大洗分）はその準備期間も含め5月8日より始まり、6月9日に無事終了した。SG内のナトリウムはことのほかきれいにドレンされており解体工事も極めて順調になわれたといえる。以下その間の手順、方法、解体所見を報告し、今後の参考に供したい。

2. SGの構造と解体上の問題点

1 MW蒸気発生器は図1および写真1に示すようにシェル寸法で直径1 m高さ10 mの円筒形のものでフランジ構造となつている。内部には直径25.4 mm全長約43 mの10本の伝熱管（図2および写真2, 3, 4, 5,に示すようにダウンカマ部とヘリカルコイル上昇管部より構成されている）が内臓され、この内部構造物全体のシェル上胴に吊り下げられている。

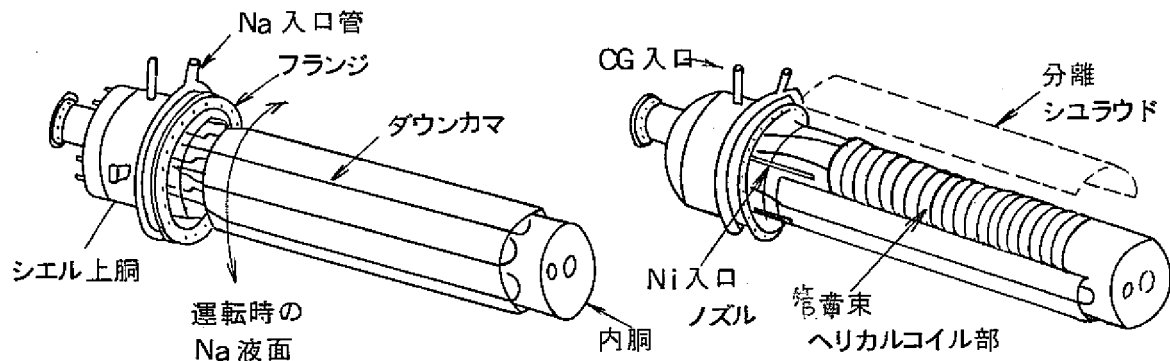


図2 1 MW蒸気発生器の内部構造

ナトリウムは、リングヘッタから4本のノズルでヘリカルコイル領域に導かれ内胴と分離シユラウドで構成された環状部を伝熱管と直交流をなして上から下へと流れる。運転中のナトリウム液面はヘリカルコイル部で入口ノズルの先端がかくれる程度であり、またダウンカマ領域はライザ部の流動抵抗分だけそれよりやや下って停滞している。なお、定格時ナトリウム温度は入口部で540℃、出口部で350℃であり、管束部を流れるナトリウム流速は約0.1 m/sである。

こうした条件から計画当初解体及び洗浄に対する成否について懸念された主な事項は次のようなものであつた。

- 1) シェル上鏡部内面及び内胴上部のナトリウム蒸着の量はどうか、蒸着量が多い場合、管引抜き時に発火する危険性はないか、安全に洗浄作業（処理室にて）ができるかどうか。
- 2) フランジシール面にナトリウムが入りこみ凝固している場合、果してフランジ面を上下に引き離すことができるか、それに先立つてアルゴン加圧状態でフランジのリップシール部を切断する際にナトリウム粉末がいたずらしないか、作業上安全にできるかどうか。
- 3) コイル部のギャップ（間隙40 mmの環状領域に25.4 mmφの伝熱管が軸方向ピッチ40 mmで160段重ねられている）領域から完全にナトリウムがドレンされるか。（図3参照）

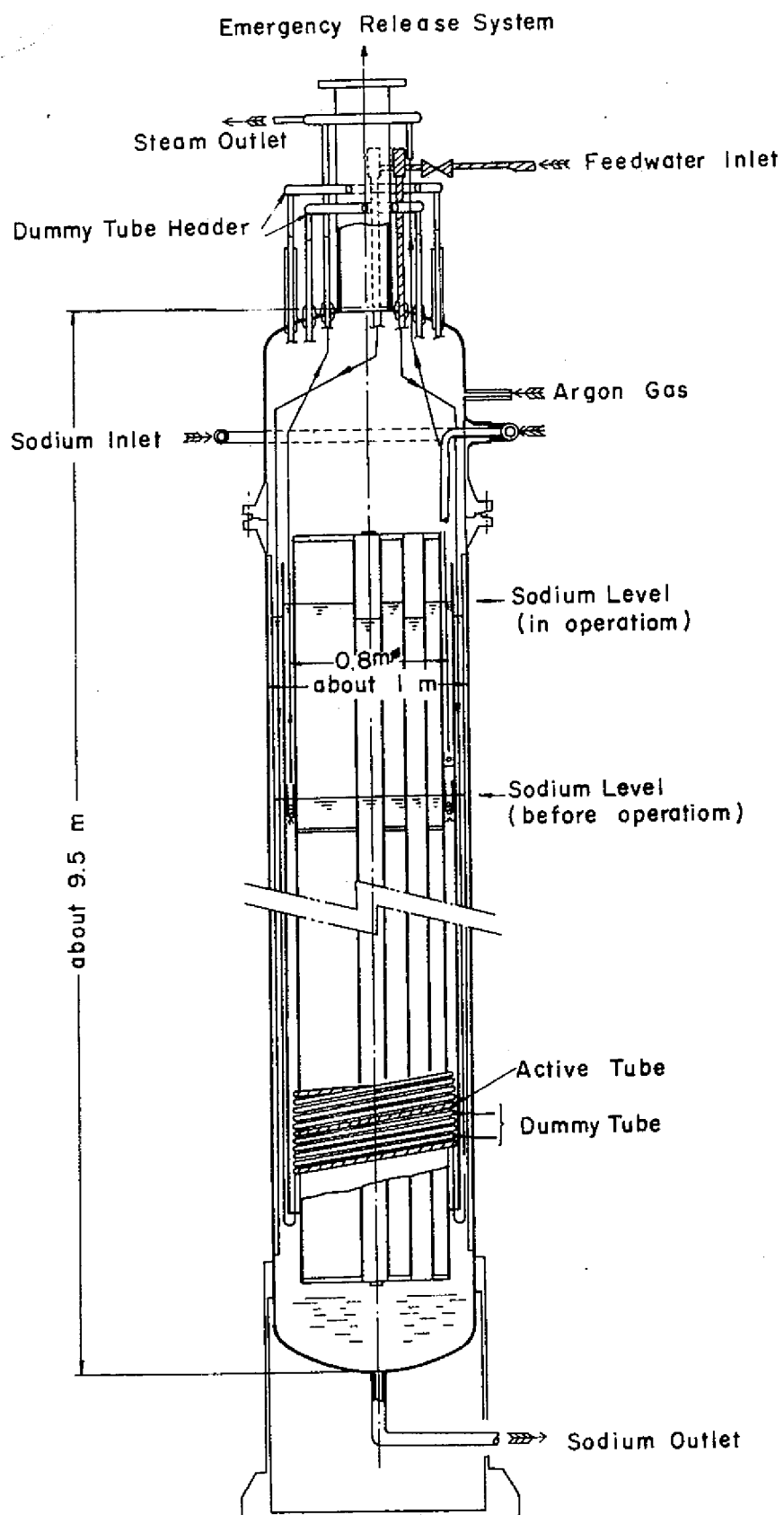


图1 IMW蒸汽发生器本体图

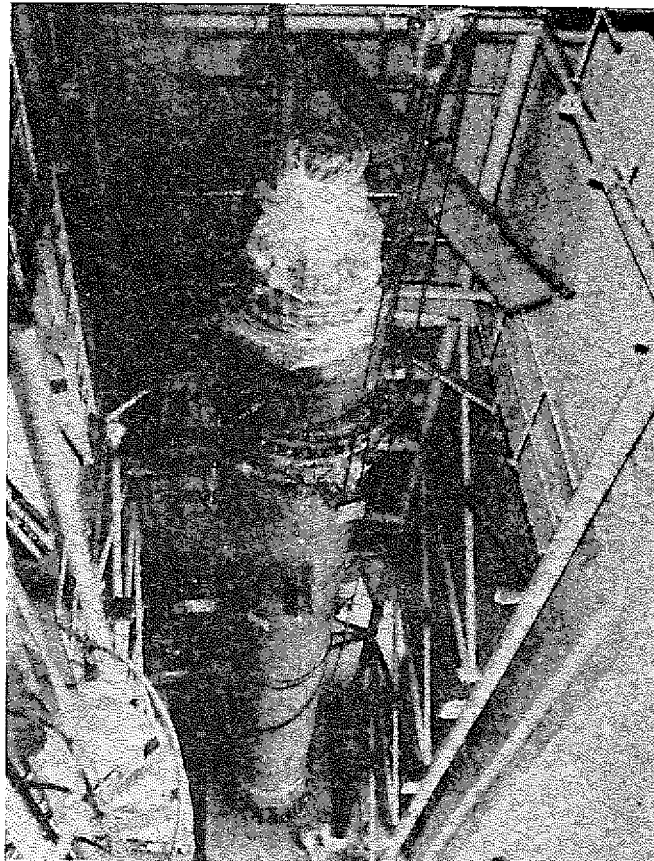


写真1 1 MW蒸気発生器の外観

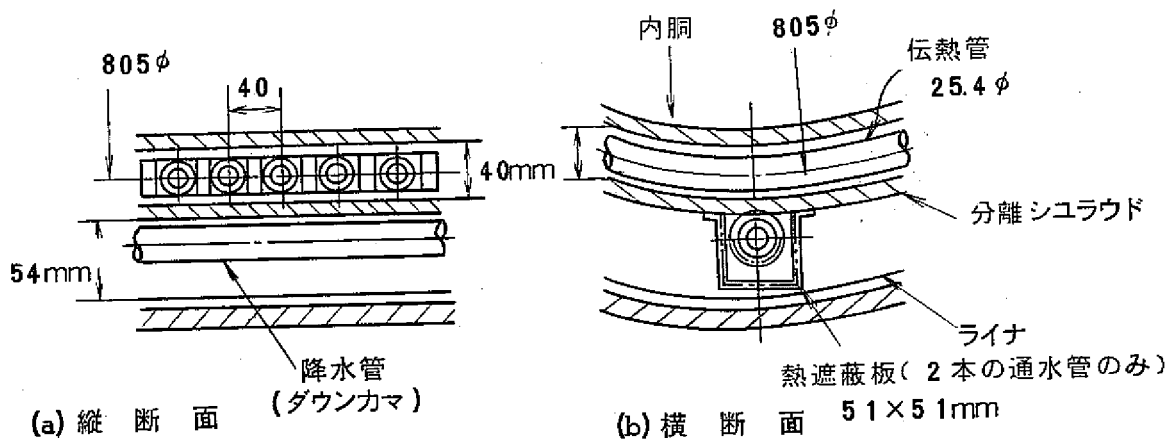


図3 伝熱管部の詳細

- 4) ダウンカマ (通水管) 領域で熱遮蔽板中のナトリウムが十分にドレンされているかどうか。
(図3参照)
- 5) 液面計装入用に細工した内胴部のスペース内のナトリウムが十分にドレンされているか。
(図4参照) 又、安全に洗浄ができるかどうか。

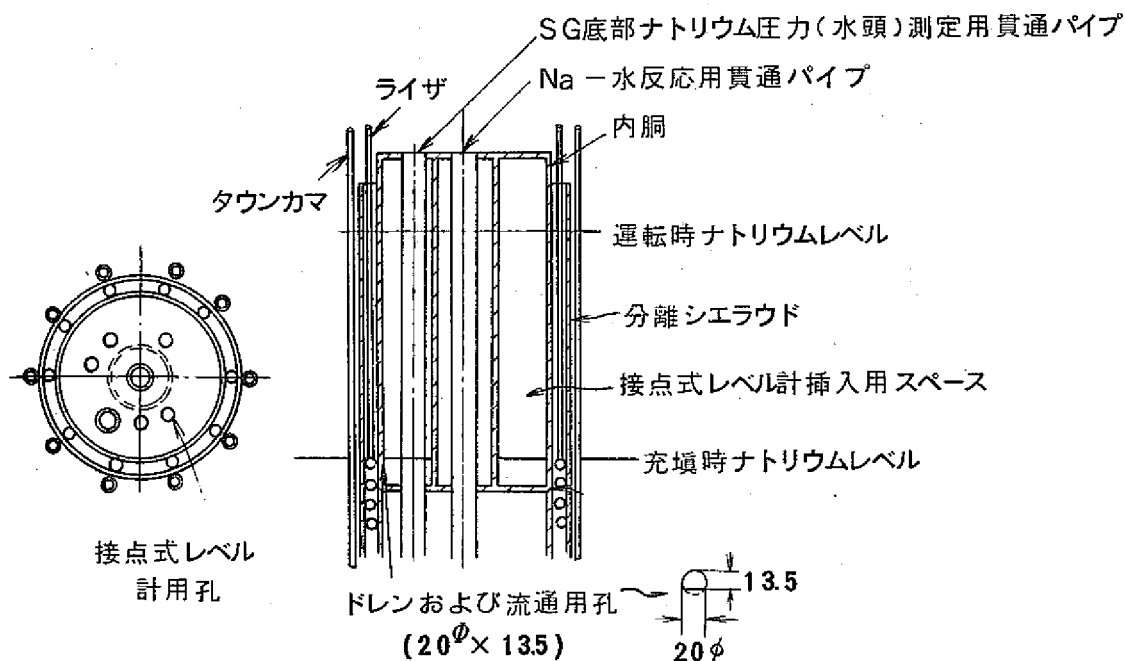


図4 内胴上部詳細

- 6) 引抜き用ガイドが熱変形をうけて鉛直に抜けないような事はないか。又、ガイド及びガイド受けにナトリウムが附着している場合、引抜きはどうなるか。(図5参照)

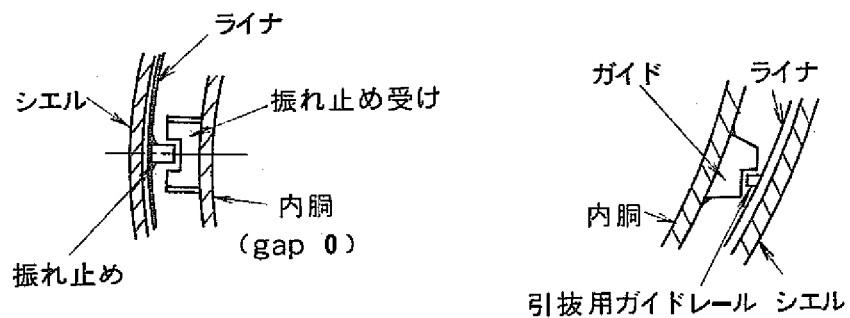


図5 引抜き用ガイド部詳細

- 7) 内胴自体の変形或は吊り金具の変形があつて引抜きに支障が生じないか。
- 8) フランジ内張となつているライナがうまくシェルより引抜けるか？ ギャップからナトリウムがうまくドレンしているか。(図6参照)

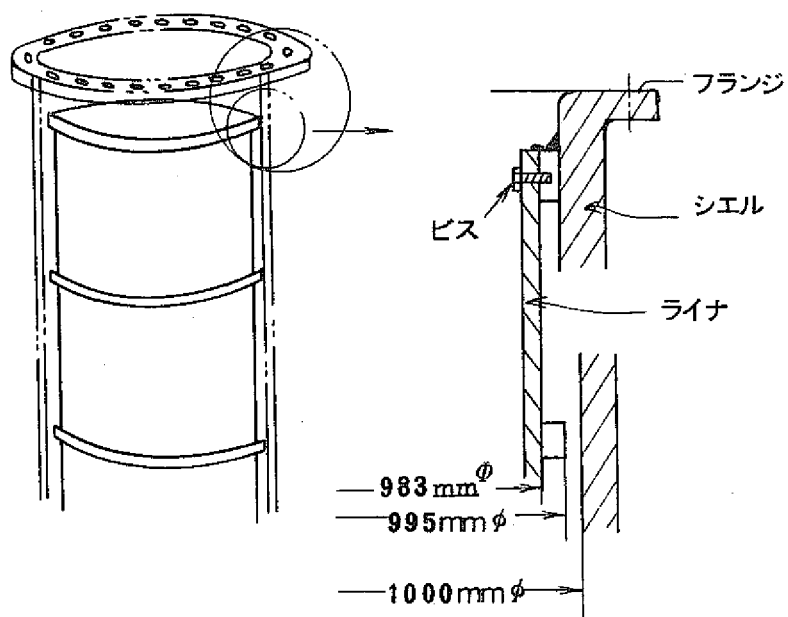


図6 ライナの取り付け状態

- 9) EECより輸入した誘導式液面計のカバーガス領域での保護管とガイド管の間にナトリウムが蒸着して詰つてはいないかどうか。

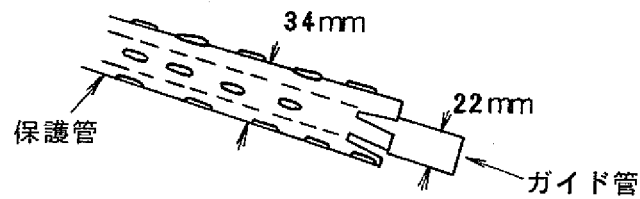


図7 誘導式液面計の保護管とガイド管

以上のような諸懸念から，SG製作者である日立製作所との打合せ及び，ナトリウム技術部内のナトリウム処理委員会よりのコメントを参考にし，次に述べるような解体，洗浄手順をきめた。

3. 解体手順

解体手順の概要を図8に示す。その詳細は次の通りである。

水側（管内）ドレン

高温ナトリウムが循環している状態で圧力解放を行ない水を完全にフラッシュさせる。

ナトリウム側（管外）ドレン

ドレンをできるだけ完全に行なうため、ナトリウム温度を450℃の等温状態にしてドレンする。

真空加熱装置増設

ナトリウムドレン後、SG内部を高温状態で真空保持できるよう管側に加熱アルゴンガスを通す装置、及び真空ポンプ保護装置を増設する。

真空処理

SG内の残留、附着ナトリウムをできるだけ蒸発放散させる目的で、SG胴側をカバーガス配管より真空引きする。この時予熱ヒータでシェル外壁より、加熱アルゴンガスで伝熱管側よりSGを加熱し、SG内部を高温状態に保つ。

接続配管切断

試験試設とSGが接続しているナトリウム出入口、カバーガス管、給水管、蒸気管、放出系配管、計装配線を切り離し、SG本体を単独にする。

SGピット内挿入

独立したSGを管束引抜用に設置してあるSG底部のピット内に挿入する。尚、ピット内でもSGを予熱できるよう外装ヒータ及び熱電対のケーブルを延張しておく。

フランジ部のシール溶接部の切断と浮かし

フランジのシール溶接部をグラインダで切断する。次いで押しボルトにより上下フランジ面の切り離しを行ない、管束の引き抜きの可能性を確認する。必要に応じ予熱ヒータを使用する。

管束部引抜き用の蛇腹組立

アルゴンガス中で管束部を引抜くため、又その後の冷却のため、フランジの上下に伸縮量8mの蛇腹を組立てる。

管束引抜き

引抜きは、シリコンラバ製の蛇腹内のアルゴン雰囲気中でクレーン及びチェーンブロックを併用して行なう。その際アルゴンガスを蛇腹内に送入し、蛇腹内が負圧にならないよう注意する。

引き抜けた管束部は蒸気洗浄のためナトリウム処理室へ輸送する。

分離シェラウドの除去

処理室で洗浄のためコイル部を露出させるべく、降水管、分離シェラウド支持金具、分離シェラウドを切断する。

分離シェラウド（肉厚12mm）の切断は軸方向2分割または4分割で行なう。切断はガウジングによる。

ライナ引抜き

ライナの上端固定溶接部を下胴フランジ面より、ガウジング、グラインダにより取り除き、ライナ内胴に吊り上げ用の把手を溶接する。この把手を利用しクレーンで引上げる。必要に応じ、押しボルト、予熱ヒータ、蛇復を併用する。（この作業はSGピット内で行なう。）

シェル引抜き

最後に蛇腹、予熱ヒータ等を外し、シェルを引き上げ蒸気洗浄を施すために処理室へ輸送する。



4/7 T/D 500℃
PL 110℃

4. 解体工事状況

1) 解体工事に入る前のナトリウム純度

3月下旬からコールドドラップが徐々に閉塞し、ナトリウム浄化ができなくなりプラグ温度は4月7日には第1プラグで270℃、第2プラグで182℃まで上ってしまった。

SG性能試験のスケジュールから残り3週間程度の運転が計画されていたが、運転と共に更にナトリウムが汚れていく事が予想された。たまたま安全弁の補修工事を行なう必要が生じたので、その期間を利用してコールドトラップを予備品と交換し、4月17日以降の運転でナトリウムの浄化を行なった。

この結果、4月28日最終ドレン直前のナトリウム純度は第1プラグ温度で205℃、第2プラグ温度で149℃^{*}になった。

(* K. T. Claxton による飽和酸素濃度曲線で酸素 10 ppm)

2) ナトリウムドレン

4月27日、試験スケジュールを終了した。

4月28日、0時からSG伝熱管内の水抜きフラッシングを行なった。シェル側は346⁰/minのナトリウム定格流量で系統全体を400℃にし、12時までの12時間、等温運転を行なった。以後ナトリウム温度を450℃に上げて更に3時間ナトリウムの等温運転を行なった。

4月28日午前11時、ナトリウム温度400℃の等温運転中に計測したプラグ温度が前述のものである。

15時30分、15時間半の等温運転の後450℃でナトリウムをドレンした。

ダンプタンク内での熱応力を軽減するため、ダンプタンク及びドレンラインは300℃以上に予熱し、ドレン開始直後は流量を抑えて行なった。

ドレン後は5月12日の次のステップまで2週間、200℃の予熱状態でドレン弁は開放したまゝにしておいた。

3) 加熱真空ドレン

a 設備の概要(増設)

本項によるナトリウムドレンは、これまでの過程でドレンしきれなかったナトリウムをできるだけ取り除くため、SG内を真空加熱し、ナトリウムの蒸発飛散を期待するものである。加熱法としては、真空加熱のため既設SG外装ヒータの他に、内部からも加熱できるようにガス加熱器を設け、そこからの加熱ガスを伝熱管及びダミー管に通し内側からも加熱するものである。同時に真空系も高温ガスを引けるようトラップ、冷却器を増設した。設備の

概略を図9に示す。アルゴン加熱器を図10、写真6,7に示す。

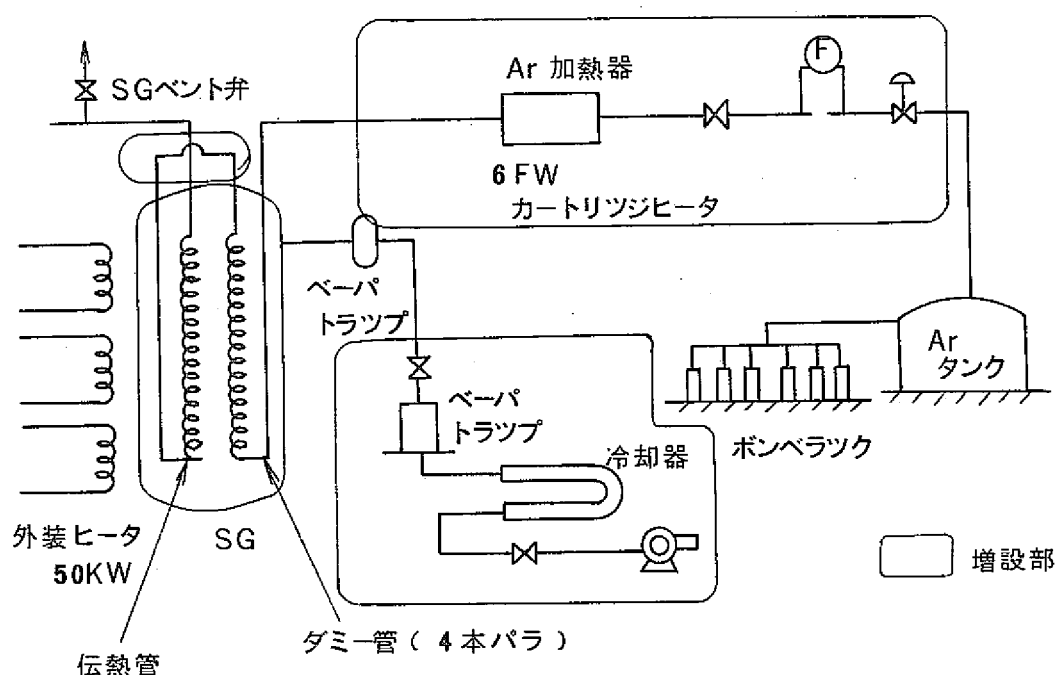


図9 加熱真空ドレン用ガス加熱設備

b 加熱真空引き

5月8日より上記の増設工事を開始し、5月12日に終了した。引き続いて5月13日より真空引き（ $9^{\circ} \sim 18^{\circ} 50'$ まで）及びガス加熱を行なった。しかし保温工事の不完全、ヒータの設置がまずくさらに温度測定法の不具合もあって、ガス温度は 150°C までしか上らなかった。そのため急遽それらの改善策が必要になった。

保温については加熱器でシリカライト3層、その他については岩綿2層により工事を再施工した。加熱器を上下を逆さにして端子部を下にし、ガスを下から送り上から出すようにした。また、真のガス温度を測定するため、ヒータ出口配管の中央に熱電対を直接挿入した。（始めは出口管3m先で、管表面でウェルを介して測定していた）

又、加熱器保護のため、加熱器上面に熱電対をつけ、最高 450°C で運転を行なうようにした。

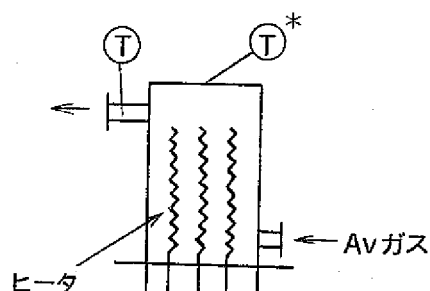


図10 アルゴン加熱器温度測定位置

これらの改善策は5月15日までに全て終了したので加熱真空引きを5月16日より再開した。

運転はSG外装ヒータの設定温度を350℃に上げ、アルゴンガス加熱器の出口温度を400℃、流量0.1m³/minに設定して行なった。

尚、外装ヒータの熱出力の50KWに対し、ガス加熱器の方は6KWと小さいことから真空引きを行なう前に予熱ヒータでSGを昇温してしまい、ガス加熱器は真空になった後間欠的に運転を行なうこととした。

5月16日	10時	外装ヒータ設定	200℃～350℃		
		ガス加熱器	ON		
	19時	昇温完了	SG	シェル表面	350℃
				ダウンコマ領域	340℃
				伝熱部	330℃
				中心部	320℃
	22時30分	真空引開始			
5月17日	0時	200MHgに到達			
5月19日	8時30分	真空ポンプ OFF			
	9時30分	外装ヒータ OFF	(5/22 夕方	100℃まで下った)	

c ま と め

以上の作業をまとめると次の通りである。

運転時間	高温 (320℃ 350)	62HR	(5/16 10°-5/19 9°)
	真空	565HR	(5/17 0°-5/19 8°30')
到達真空管	150	200MHg.	

4) SG廻り配管切断

引き続きSG廻りの配管切断工事に入った。

工事は5月19日-5月21日までSGの冷却を待ちながら、保温材の解体、配管切断のための足場作成等の準備をへて実際の配管切断には5月22日より入った。

写真 8.9は保温材をとりはずしたSG頂部の様子を示したものである。

SG廻りの配管としてはNa出入口管、Naドレン管、カバーガス管、給水管、2"及び12", 10"の放出管等があり、それらの切断箇所は21ヶ所であった。

切断は10" 及び 12" 二重管になっている放出管のグラインダカット(写真10)を除いて

は、原則として不活性ガスシールのもとにパイプカッターを使用して行なった。切断箇所のループ側は直ちに盲キャップを溶接した。そのため、そのスペースを確保するため切断は100 mm前後の単管で切り落した。尚、給水管と蒸気管は両者の切断箇所でも200 kg/cm²の耐圧配管で接続し、水系だけの運転が行えるようにした。

Na 出口管及びドレン管の水平部での切断箇所でも管下部に少量のNa が認められた。この様子を写真11.12. に示す。これは配管勾配(1/100) がドレンを考えると不足しているものと思われた。

5月26日 で配管切断及び計装の取り外しが終り、SGはループより独立し、単独になった。その後の工程を考えて5月27日 放出系についている破壊板を盲蓋にとりかえた。(写真13.14.)破壊板の真空サポート板及びそこに至るノズルに一面にかなりのナトリウムが蒸着していた。その様子を図11, 写真15, 16に示す。

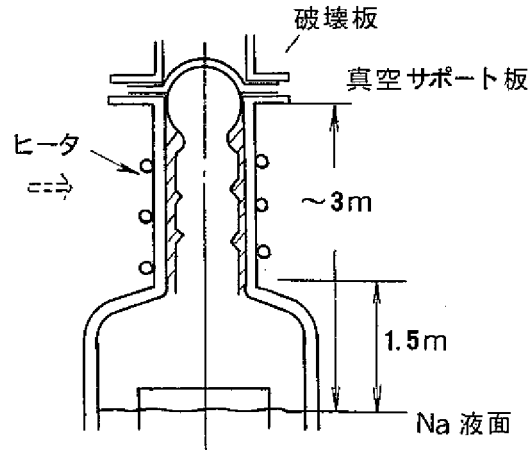


図11 蒸気発生器ラブチャードスク
下部ナトリウム付着状況

ナトリウムの蒸着は3段ほど層状に高くなっており、ヒータの巻かれている位置と関連があるように思われた。

尚、破壊板は真空サポートと破壊板と2重になっているが、下側(ナトリウム側)の真空サポート全面にナトリウムが附着しており、こうした状態では破壊圧も変っているのではないかと思われた。

破壊板近傍は保温もしていなかったが、長時間のSG運転を考えるならば前図の範囲は少なくとも予熱、保温を完全にし、しかも温度制仰ができるようにすべきであると思われた。この真空サポートはただちに水洗してもさしたる発火もしなかったもので、付着物はほとんど酸化ナトリウムであろうと思われた。破壊板取付部の放出系ノズル上部よりのぞき見たSG内部は案外きれいなのが救いであつた。

5) 外装ヒータ, 温度計リード線延長

配管切断工事と平行して、5月23日～26日の間に、計装配線の取り外し工事およびSGをピット内に挿入しても予熱できるように外装ヒータのケーブルを延長する工事を行なった。

なお、SG室に設定してあった O_2 計、 H_2 計は工事中の破損をさけるためと、工事スペースを考慮して5月21日SG室よりナトリウム室へ移動した。

6) SGピット入れ

SG廻りの配管が切断され、SGが単独になった時点で、当初の計画ではフランジのリップシール部を切断し、押しボルトにより浮かしを行なって管束引抜きの可能性を確認してからピット内に落とす予定であった。

しかし、この状態ではリップシール切断の作業条件が悪く安全面で心配だった事、又、ピット内に挿入してからでもSG加熱条件に大差のないことから予定を変更してSGを直ちにピット内に挿入することにした。

5月29日、吊り天秤でSGを一担吊り上げ、図12および写真20に示す様に3基のチェンブロックでSG支持プレートを横に引き出し、そのままSGをピットに吊り下ろした。その作業状況を写真21、22に示す。

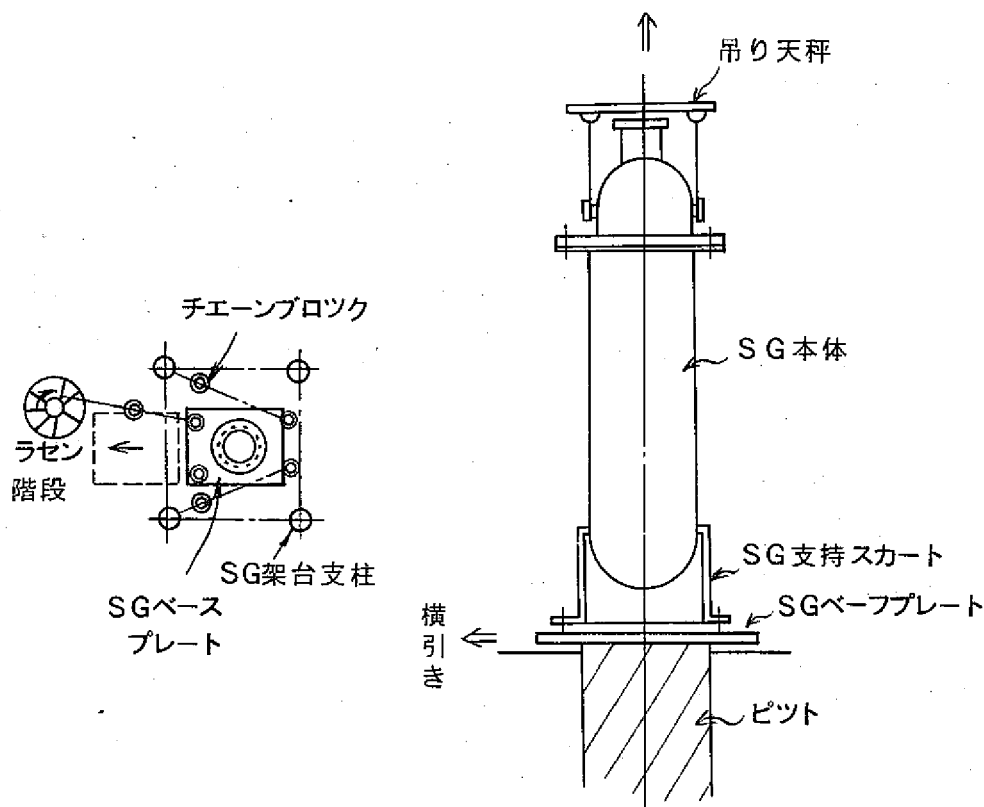


図12 SGベースプレートひきぬき要領

吊り下ろしの段階でSG保温外圧とIビームの間隙が最小の点で20 mm程度であり，予熱ヒータ端子ボックスをかわしながらおろしていくのに苦労した。その内の2ヶはどうしてもかわしきれず一担SGより端子ボックスを外し，Iビームをかわしてから接続なおした。吊り下ろし後，予熱ヒータの接地及び導通チェックをしたところ1ヶ所だけ導通のないヒータがあり翌日ピット内に入り検査し

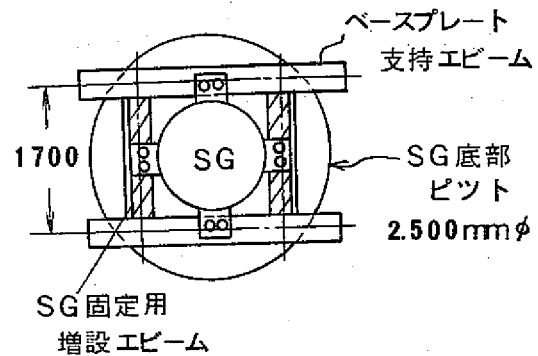


図13 SGピット 挿入後のSG固定法

接続不良箇所を手直した。ピットに吊り下ろされたSGは管束引抜時，支持部にどれだけ荷重がかかるか判らず，少なくともクレーンの荷重の15 ton はかかるという事から，下部胴体の支持はそれに耐えるべく2本のIビームを増設し，図13および写真23に示す様に4ヶ所でSG胴体を固定できるようにした。

7) 連続式液面計の抜出し

5月30日，ピット内に納められたSGより，復旧時再使用する2本の連続式液面計をスリーブの溶接部をグラインダで外し抜き出した。（図14）

液面計の状態は写真24に示す様にシェル貫通部近くの上端にだけ僅かにナトリウムが蒸着していた。他は保護管の内外面，ガイド管の外表面も非常にきれいであった。

水洗後表面を見ると，Na液面に漬っていた部分は非常に滑らか且つ光沢があるのに対し，カバーガス領域ではザラザラした感じで光沢も悪く，ある程度の腐蝕をうけているものと見受けられた。

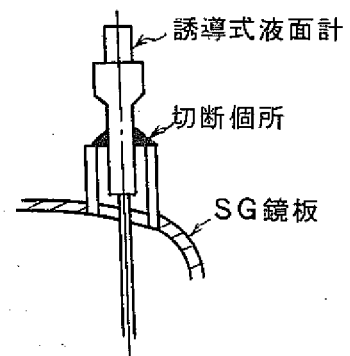


図14 誘導式液面計のSGとりつけ状態

2本の液面計の内，中心部に挿入されていた液面計には変形はなかったのに対し，伝熱部に入っていた液面計は図15に示すようにかなりの変形を受けていた。

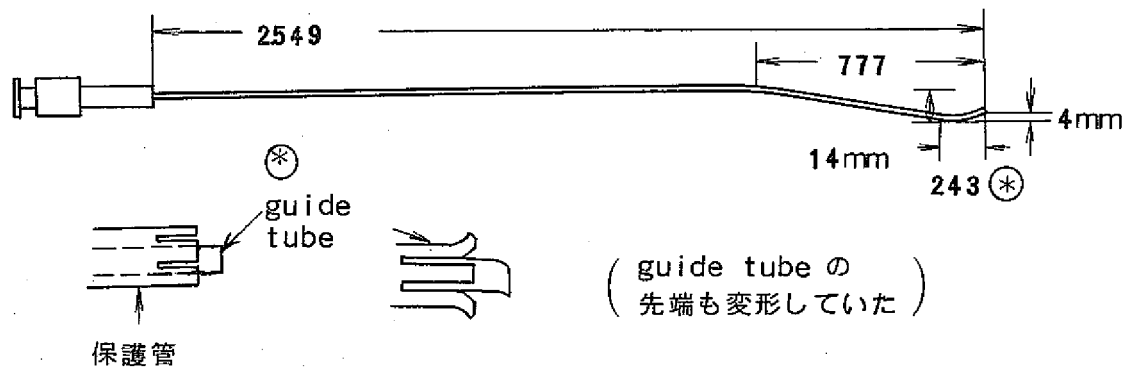


図15 誘導式液面計の変形状態

この変形の原因が、液面計自体の熱歪なのか、挿入時無理に入れた為なのか、運転中何らかの拘束を受けたために曲がったのか定かではないが、保護管先端部に変形が生じていることおよび中心部に挿入されていた液面形に変形のないことから考えると、最後に述べた条件が最も可能性が大きいものと考えられる。

今後、解体を進める段階で液面計の挿入されていた領域に障害物となるようなものがなかったか調べる必要がある。

尚、中心部に挿入していた液面計にはノイズの心配のない事から保護管は使っていなかった。

8) フランジ部開口

5月30日、および5月31日の午前中一杯かかってSGフランジのリップシールを切断した。(写真25)切断後フランジ浮かし用の押しボルトを設定した。写真26に示すように36個所のボルト孔のうち3個所を1組として周方向の9ヶ所で行なった。

とりつけを完了した時点で当初の計画では予熱に入る予定であったが試みに3ヶ所からボルトを押し込んでみたところ簡単に浮き上がったので、そのままボルトスローク一杯約30mm程引き上げた。

この時点で中をのぞいたところ、フランジOリングの内側および内胴上部にナトリウムが認められた。運転当初のオーバチャージによるものか、その後の蒸着によるものかは明確ではないが、かなり汚れたナトリウムであった。

尚、ボルトの引き上げ荷重であるが、トルクレンチ等で計測したわけでもないので正確ではないが、ボックスレンチのアーム長300mm人力5kg×3人で概算すると、管束自重を差し引いた抵抗は1～2ton位のものでなかったかと推定される。

もともと、押しボルトはフランジ面に一様にナトリウムが附着しているという想定で準備したもので、このナトリウムを予熱状態にして剝離させようとするものであった。ナトリウムが完全にOリングでシールされており、Oリングの内側に僅か付いていたナトリウム

も冷間状態で剥離でき、30mm までの範囲では管束部が冷間で容易に上ったことから、それ以後もクレーンを用いて冷間で引き上がる事が期待できた。そこで管束部は予熱しないで引き上げてみる事にし、翌日(6/1)の蛇腹組立、翌々日(6/2)の引抜きという事に予定を変更し急拠蛇腹組立及びレッカー車の手配を行なった。

管束引抜についていえば、この時点で必ずしも蛇腹を必要とは思われなくなったが、途中で引抜不能になった時の予熱等の対策、およびその後のライナ引抜のためには必要であろうの想定の下でこの時点で蛇腹を組込み、蛇腹をつかつての管束引抜きを行なうこととした。

9) 蛇腹組立

5月31日,SG室外においてSG管束引抜き用蛇腹の開梱,仮組み立てを行なった。(写真27) SG頂部4つ割のフランジボルト孔の位置調整,アルゴン封入用ノズル追加工事(上,下 2ヶ所)を行なった。

6月1日,押しボルトで30mm 浮き上っているSGフランジ面(間隙部はビニールテープでシール)の廻りにシリコンラバー製の蛇腹を組立てた(写真28)。蛇腹の上下両端とSG胴体部のシールは下端では石綿パッキンを介しシリコンラバーだけをバンドで締め,上端では各々に石綿パッキンを介した4つ割のフランジの組立で行なった(写真29)。

蛇腹組立は午前9時に始まって午後3時に終了した。引き続いて約2時間,10m³のアルゴンガスを使用して蛇腹内とSG外面の雰囲気の空気をアルゴンガスと置換する作業を行なった。その方法を図16に示す。

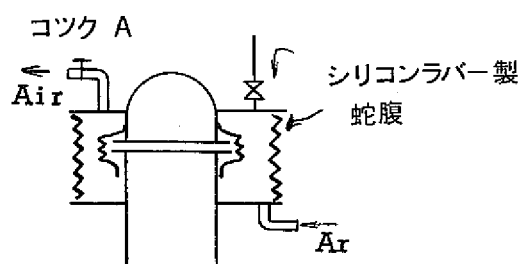


図16 蛇腹内雰囲気のアルゴンガス置換

10) 管束引抜

ひきつづいて午後5時30分頃より蛇腹内でSG管束部の引抜きを行なった。引抜きは15 tonのクレーンでインチングにより行ない,7mの引き抜きを約2時間かけて行なった。この引抜き作業中は常時蛇腹下部フランジよりアルゴンガスを供給し,蛇腹のふくらみ,コック④の開閉により蛇腹内の正圧を確認した。蛇腹のストロークとしては約8.5mあったが,7m引き上げた時点で管束部がシェルガイドから外れ,自由に動く事が確認されたので,その時点で引抜きを終了とした(写真30)。

なお,引き抜きはシェルを基礎(支持台)に固定して行なう予定であったが,引き抜き抵抗を知るために支持台のボルトをゆるめた状態で行なった。引き上げの過程ではそのボルトは常にゆるんでいた事からその抵抗はシェルの自重の4 ton以下であったといえる。

また引き抜きに際してSG内部構造の変形等によって引き抜き作業の支障となっているよ

うな状態はうかがわれなかった。

11) 管束部搬出

6月2日、快晴に恵まれてSG搬出を行なうこととした。午前9時より蛇腹頂部の4つ割のフランジを外し、4ヶ所から滑車、チェンブロックを使用して蛇腹を吊り下ろした。(写真31) この吊り下ろしによって露出した管束部は完全にナトリウムはドレンされていたといえる。(写真32) ただし、内胴頂部にナトリウムの沈積が認められ、カバーガス領域の吊り金具、内胴上部上鏡内面にナトリウムの蒸着が認められたが(写真33)、その他の場所では殆んどナトリウムは認められなかった。

分離シュラウドの外表面はカバーガス領域、高温領域、低温領域と光沢あるいは色で識別され、上から黒々と一見汚れた感じ、銀白色、黒く濡れた感じと3領域に分けられた。この分離シュラウドの材質はCr-Mo 鋼であり、製作時の酸化物がカバーガス領域ではそのままナトリウム蒸気により還元され、高温部では剥離され、低温部ではある程度流れ落されて残ったものが還元されて黒光りしているとも思われた。なお、製作段階でグラインダ仕上げされた箇所は一段と光沢のある白銀色で他の部分と様相を異にしていた(写真34)。こうした事からグラインダ仕上げをしていない表面は酸化物で覆われて 比較的ポーラス状の粗い表面になっていてこの酸化物が運転中に Na の還元作用により光沢の変化を生じたものと想定したわけである。

構造的な変形としては図17および写真35に示す様にダウンカマ下端部で曲がり部の曲率の変形および全体的な伸びによって10本の伝熱管相互に著しい相違が認められた。

通水管に比してダミー管の変形が著しいことから、熱膨張による管の伸びがこの部分に集約されかなりの拘束をうけて変形をしてしまったものと解釈される。

寸法的な点については後でまとめて述べる。

分離シュラウドにとりつけられているガイドレールの受けに、後になってすり傷のついているのが認められたが、これが今回の引き抜きによるものが製作時のものかはつきり判別できなかった。可能性としては横置きで挿入した製作時についたと考える方が妥当であろう。そのほか、ダウンカマの途中5ヶ所についているサポートの上下に当初心配していた当たりとか摺動傷は認められなかった。(写真35 参照)

フランジシール面ではOリングを境にナトリウムは完全にシールされており、リングの内側にのみ Na が認められた。運転当初フランジ面以上までナトリウムをオーバーチャージした事を考え合せるとカバーガス領域でのOリングシールも充分にその機能をはたしていたと

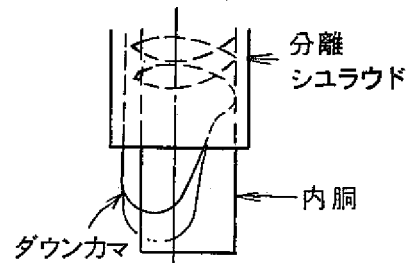


図17 ダウンカマの
曲がり状態

思われる。

SG 室内に吊り下げられた管束部は室外で待機していたレッカー車(10Ton)とのとも吊りによって室外に搬出された。その様子を図 17、写真 36、37 に示す。その後のシュラウド解体、洗浄のため管束部底部にターニングリングを取りつけた後、ナトリウム処理室へ運んだ。リング取付に際して前述のダウンカメラ下端部の伸びにより予定通りリングが入らずこの時点で一部ダウンカメラ下端の曲がり部を切断した。

ターニングリングを取りつけた後(写真 38)、管束部を処理室に運搬し(写真 39)、処理室に準備していたローラの上に上記リングを介して横置きにした。この時点でその後の作業性を考えて放出管、吊り金具、上鏡内面に蒸着していたナトリウムを蒸気洗浄した。(写真 40)

一方、ピット内のシェルは管束の引き抜き後直ちに盲蓋をしたが、上からのぞき見た範囲では Na は完全にドレンされており、底部にも何も残ってはいなかった。写真 41 に示す様にシェルの内張りになっているライナのカバーガス領域にナトリウムが僅か蒸着していた事、グラインダ仕上部が銀白色に光っていた事など、管束部分離シュラウドの状況とほぼ同じであった。

12) 分離シュラウドの切断

管束部洗浄のため、6月3日管束部を覆っている分離シュラウドの軸方向の切断を行なった。この切断に先立ってダウンカメラをフランジ部と下端曲り部の2ヶ所で切断、分離した。分離シュラウドの切断は計画当初、ガスガウジングとアングルグラインダの2手法で行なう予定であったが、管表面と分離シュラウド内面とのギャップが7mmであることを考え、管サポート部で切断すれば管自体に損傷を与える事なく切断できる見通しが得られたため、ガスガウジングだけで行なった。ガスガウジングはカーボン電極を用いて2層に分けて行ない、午前9時から午後4時まで2人で交替しながの連続7時間で2列の切断が完了、分離シュラウドが取り除かれた。写真 42 に切断状況を示す。

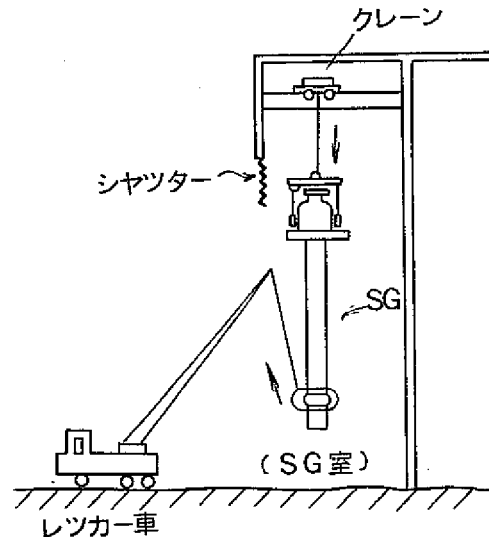


図 18 管束部屋外搬出方法

分離シュラウド内部（伝熱管コイル部）には付着ナトリウムは全然なく、僅かに、潮解したことを示す白い膜程度のものが散在して認められた程度であった。管のピッチも上下両端の敷列を除けば整然としており、運転後の状況としては満足すべきものであったといえる。しかし、露出したコイル部を見て奇異に映ったものとして次の2点があった。

- a. Na デストリビュタガ 根元から先端にかけねじれ曲っている。（写真43）
- b. 伝熱管が5本毎に1本だけ黒々と濡れた感じで明確に識別された。（写真44）

原因として、aについてはナトリウム噴出による流れの影響、あるいは溶接時の残留歪がナマシにより戻されて変形した。bについては調べてみると神鋼のSTBA24（標準鋼）で製作時の錆によるものとか、鋼管メーカーの防錆塗料の差（神鋼のNb安定化鋼もこの濡れた感じのするものがあつた）により相異が生じた、等が可能性として考えられるがまだはっきり判っていない。

解体されたコイル部は直ちに洗浄を施したが、前述の通り付着ナトリウムのほとんど無い事から特に問題はなく当初心配していた液面計挿入部の残留ナトリウムも蒸気洗浄と共に3～4分間パチパチといった程度の燃焼音を発し、穴から赤い焰がわずかに出る程度であった事から判断して大した量ではなかったと思われる（この洗浄方法を図19に示す）。しかしいずれにしても残っていた事は明白で、連通部開口孔はもっと大きくあけておくべきだったと思われた。写真45にコイル部の蒸気洗浄状況を示す。

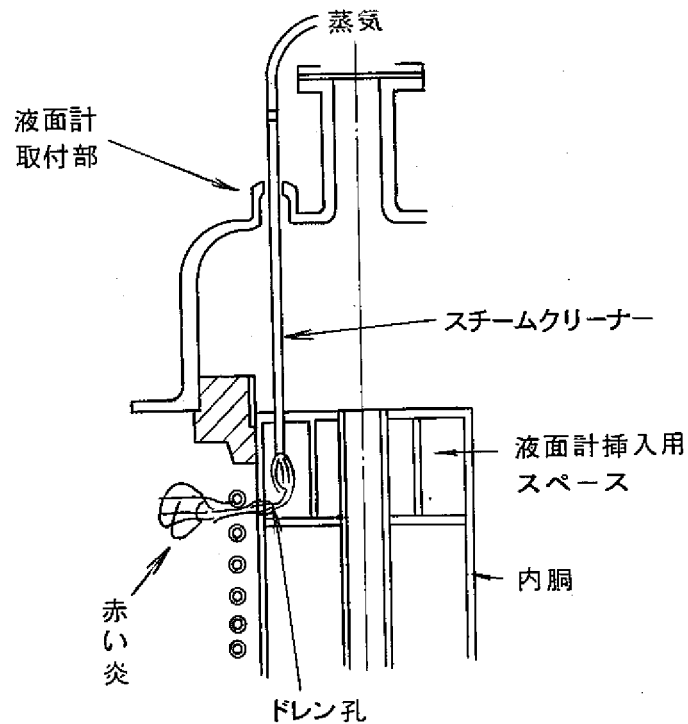


図19 液面計挿入用スペースの洗浄

13) ライナ引き抜き

管束部の洗浄も終わった6月5日、ライナの引き抜き作業に入った。引き抜きはライナを、クレーンで吊れるようライナ上部4ヶ所に把手をつけた後、図20(a)に示すビス及び溶接部(b)をガスで溶断した。

この状態で引き上げようとしたところ、把手及びライナが変形し引き上げる事ができなかった。

そこで一時は予熱状態にし図19(b)に示すような押しボルトにより引き上げる事も検討を始めたが、結局は写真46のように把手の構造を剛にして吊り上げてみたところ(6月6日)無事引き抜く事ができた。(冷間)

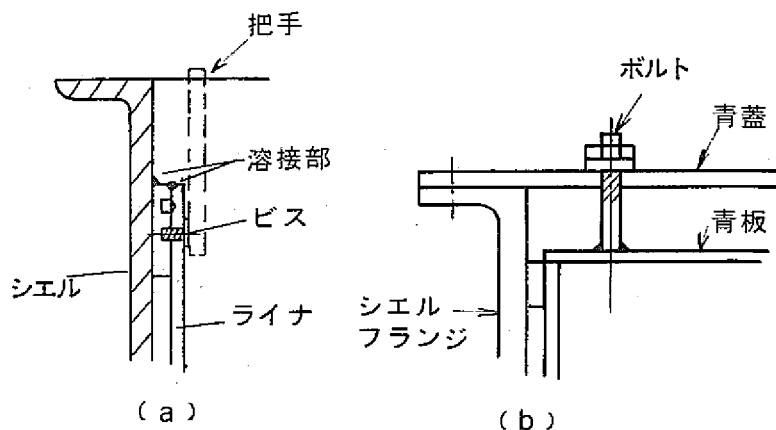


図 20 ライナ引抜き方法

引き抜かれたライナ表面上には、附着ナトリウムはなかったが写真47に示すようにリング状のダガの上下にはかなりの黒い粉末が蓄積していた。この黒い粉末は採取時赤い燐を出して燃え出したところから、かなり還元の進んだ酸化鉄が大部分という見通しが立った。

ライナのタガの表面とシェル内面とのギャップが片側で2.5mmと狭い事から層状にナトリウムがつまっているのではないかという危惧もあったが、ナトリウムはきれいにドレンされていた。タガにドレン抜きはないという設計者の話であったが、引き抜かれたライナを見ると、タガの終端に10~15mm程度の空隙があり、ナトリウムドレンの上では効果的であったと思われる。

14) 附着物の採取及び分析

解体洗浄時、下記の箇所より附着物を採取し、化学分析を依頼した。

- a. SG管束部洗浄前附着物
- b. 上鏡部放出管洗浄液
- c. SG管束部洗浄後附着物
- d. SG, シェル, ライナ外面洗浄前附着物

現在、このサンプルに対する分析結果として次の点が報告されている。

a) 蛍光X線分析

存在元素 Fe, Cr, Mo, Nb, Mn, Ni, Tj

主成分は Fe, Mn, Ni, Tj は微量

シェラウドよりのサンプルにも Nb が認められる。

b) X線回析分析

化学物 Fe_3O_4

以上の事から、付着物はCr-Mo材の表面酸化物からのものと推定され、Naにより酸化物が還元されていると解釈された。ライナからNbが認められる事は、Nbの使用は伝熱管

に限定されている事から伝熱管からの剥離移行あるいは質量移行の可能性が考えられる。

Ni はループ側の SUS 材から来たものと思われるが、質量移行によるものか、配管切断時の切粉なのか判断がつかない。

(なお、分析結果の詳細についてはナトリウム技術開発試験室報告書を参照)

15) 洗浄後 SG の工場への搬出

洗浄した SG は、現地での可能な範囲の目視寸法測定等の諸者検査を行った後日立工場に向け搬出した。工場では更に詳細検査を実施した後、引続き伝熱管コイル部等の工場解体作業を行ない、材料試験用素材の切断を行なった。

5 工 程

SG 解体工事の工程および実績を表 1 に示した。この表で見るとように準備期間の工事および運転についてはほぼ工程通りであったが、解体工事に入ってから工程は非常に短縮され、最終的には約 2 週間短縮された。

これは、SG 解体洗浄工事という事で多くの未知の要素を含むことから工程自体が余裕をもって作成されていた事、また工事に入ってから先行き何が起こるか判らないという事もあって、工事が進められる内はどんどん進めたという事も一因である。

しかし、工程短縮の最大の理由は、SG 内のナトリウムが完全にドレンされていた事により、解体工事が極めて順調に進められたためである。例えば、管束部にしてもライナにしても、その引抜きに当っては、残留ナトリウムによって固着があるという想定で、予熱し、蛇腹内で引抜き冷却する事を考え予熱 1 日、引抜 1 日、冷却 2 日の計 4 日を考えていたのだが、予熱なしでそのまま 1 日で引き抜けたといった具合であった。

表 1 解体洗浄工事工程表

種類番号	発注先	(株)日立製作所	完了予定 期日	47年6月24日
名称	1 MW蒸気発生器現地解体洗浄工事		実施場所	大洗工学センター 1 MW蒸気発生器試験室
No	項目	2月	3月	4月
	SG運転, 予熱	27	1	26
	アルゴン加熱装置増設工事	27	1	26
	加熱装置によるNaドレン冷却	27	1	26
	SG廻り配管切断	27	1	26
	SGフランジシール部解体	27	1	26
	フランジ部開口, 後処置	27	1	26
	外装ヒータ, 温度計リード線 長	27	1	26
	SGピット入れ	27	1	26
	H ₂ 計, O ₂ 計移動	27	1	26
	SG架台解体	27	1	26
	解体用蛇腹組立	27	1	26
	管束引抜き→冷却	27	1	26
	管束取出し運搬	27	1	26
	下降管分離シユロウド解体	27	1	26
	洗浄	27	1	26
	外胴ライナ引抜, 洗浄	27	1	26
	外胴取出し運搬	27	1	26
	外胴洗浄, メクラ, Ar置換	27	1	26
	工場輸送	27	1	26
	(後始末)	27	1	26

6. 解体・洗浄に使用（準備）した特殊装置および治工具

1) Ar 加熱装置

4-3)-a 参照

2) 高温真空引装置

4-3)-a 参照

3) 管束（ライナ）引抜き用蛇腹

蛇腹設置の目的は、SG 管束部およびライナ引抜き時に予熱状態で引き抜き、それらの引抜き時および引抜きから搬出までの冷却期間中を不活性ガスの雰囲気中に保つ事であった。従って蛇腹に要求する条件としては a) 伸縮性 (min 1.5m max 10m), b) 耐ナトリウム (ナトリウム蒸気) 性, c) 耐熱性, d) 気密性の 4 項目であった。なお, b) の気密性については SG の構造上の問題から組立が現地工事になり, しかも作業条件もかなり悪いので厳密には要求せず, アルゴンを小量連続流入させその不活性雰囲気を保持できる程度とした。

a) の伸縮性についてはフランジ付きの蛇腹 6

段で min 1450mm max 9,900 mm のものとし,

a, c の条件から内側シリコンラバー (max 250 °C) 外側ネオプレンラバーの二重構造のものとした。なお, 外側のネオプレンは作業中の破損防護のためである。

また, SG 胴体と蛇腹のシールは下端はシリコンラバーのバンドで締め, 上端は 4 ッ割のフランジ組立で行ない, パッキン材としては石綿パッキンを使用した。(図 21)

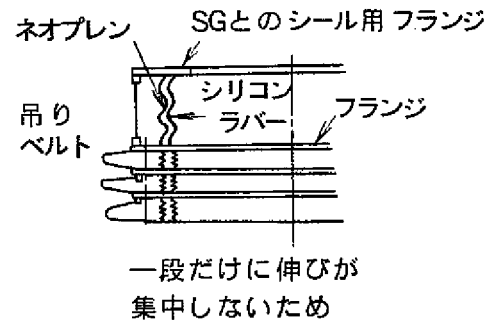


図 21 管束引抜き 蛇腹の構造

4) SG フランジ押しボルト

押しボルトは SG フランジ面に Na が存在し, 固着しているという想定で, このフランジ面を円周方向に均一な力で引き離す目的で準備した。SG フランジのボルト孔は 36 ケ所で, 押しボルトは内 27 ケ所 (1 組 3 本の 9 組) で使用するものとし, 図 22 に示すものを 10 セット準備した。

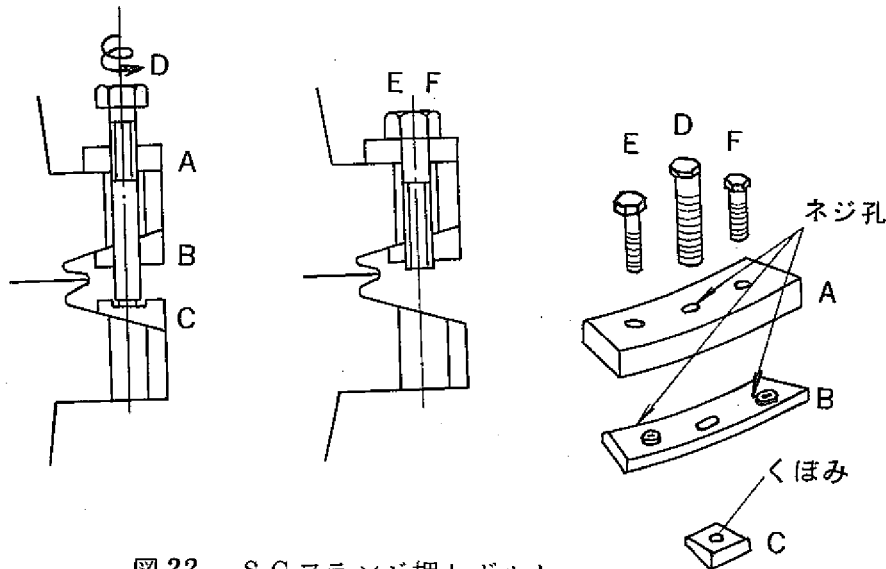


図 22 S G フランジ押しボルト

ボルト E, F, により当て板 A, B, を支え, A 中心にきられたなじ孔を利用し当て板 C を土台にしてボルト D の回転によってフランジ面をきり離すもので, 設計荷重は 2.5 Ton/組である。

5) 盲 蓋

管束部を抜いた後, その管束部の解体, 洗滌期間中のシェル側の保管対策として, また, その後ライナが抜けた場合にシェル, ライナー一体で未洗滌のまま工場に送り返せるようにとの配慮からシェルの盲蓋を準備し, 内部をアルゴン置換できるように真空引およびアルゴン封入用のノズルを盲蓋を取りつけた。

6) 解体, 洗滌用ターニングリング

管束部を処理室で解体洗滌する場合, ローラ上で回転させる必要がある。その際, 支点はフランジ側面と内胴下端になる。内胴及びフランジは復元の際再使用できるもので, ロー

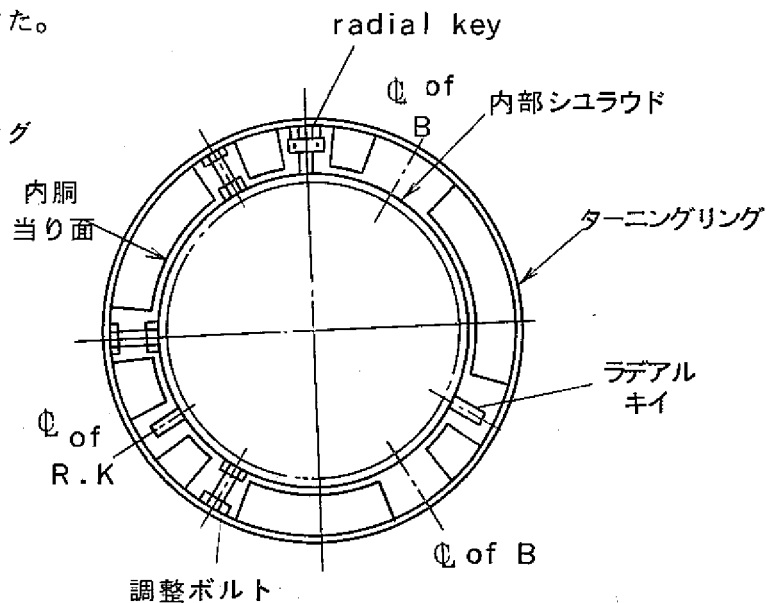


図 23 解体洗滌用ターニングリング

ラ上で処置する場合に自重による変形を受けたり、回転によって損傷を与えたりする事のないよう図 23 に示すターニングリングをラジアルキーで位置決めし、ボルトの長さの調整で芯を出し、内胴とターニングリングとの当り面にシムを入れて面接触するように調整した。(写真38参照)

7) 処理室内仮設備

搬出された管束部の解体洗浄は、ナトリウム処理室で行なうことを予定した。しかし、処理室の奥行 5.5 m に対し、管束部は約 10 m あり入りきれない。そこで洗浄時の排液処理を考えて鉄板製の受皿を準備した。又、解体洗浄作業は、管束部をローリングさせながら行う必要があることからローラ付の受台を 2 台を製作した。(図 24 参照)

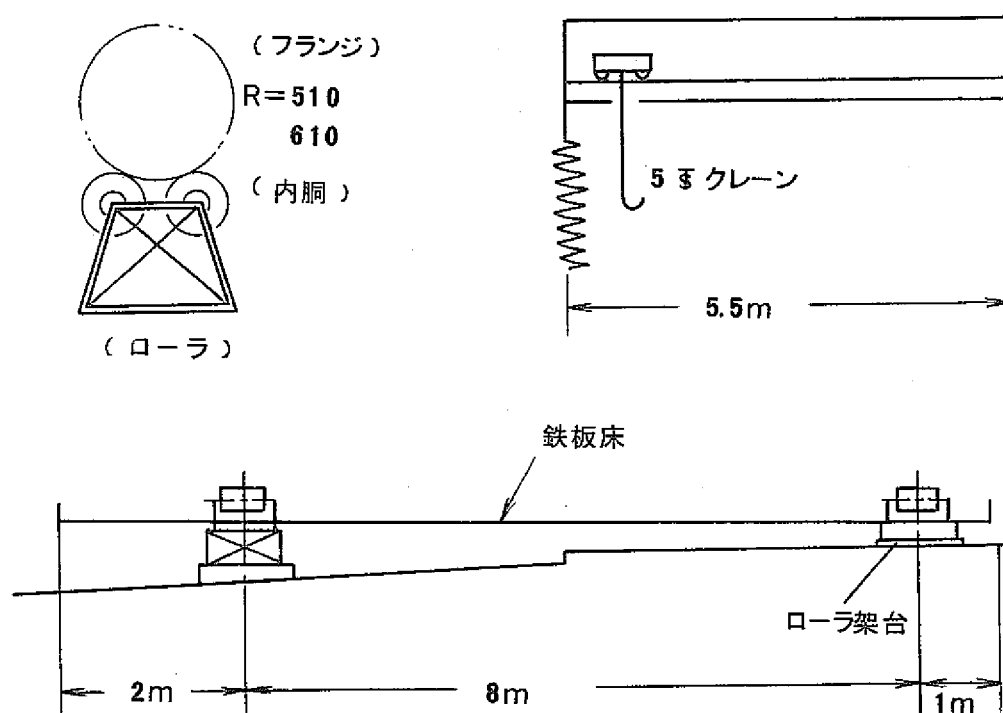


図 24 洗浄用ローラおよび受台

8) 雨よけフード

SG 管束部が処理室からはみ出るのは明白である。一方、ナトリウム付着量によっては解体洗浄に何日かかるか判らなかったため、解体洗浄作業の段階で雨がふっても大丈夫なように図 25 に示す可搬式雨よけ小屋を準備した。このフードは丸棒にトタン板をはり合せ、最終的にビニールシートでカバーしたものである。

また処理室シャッター開口部からのふき込みをさけるために、処理室内でも管束部はフード内に入るようにフードの全長を約 10 m とし、人力で運搬可能なようにフードは 2 分割とした。

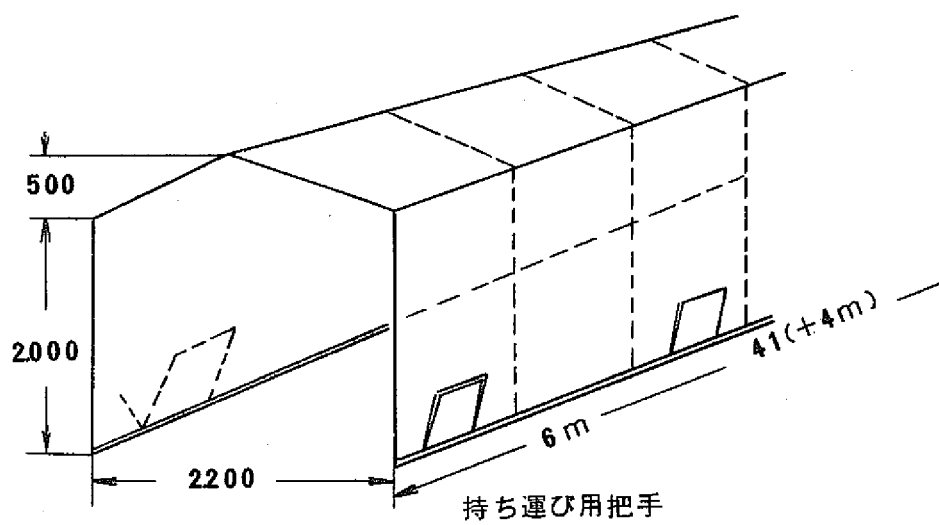


図 25 可搬式雨よけ小屋

7. 寸 法 検 査

寸法検査は大洗工学センタに於ける解体、洗浄を終って、工場へ輸送した後、日立工場検査部の協力のもとに行なった。しかし製作段階での測定寸法が無いので厳密な意味での寸法の評価はむずかしいが、製作許容誤差、設計寸法、測定値の平均から推察を試みた。

(1) ダウンカマ直管部

ダウンカマ直管部は図 26 のように 5 点のガイドでスライドする構造になっている。
(ギャップ $\cong 0$) 図 27 に示すようにストレッチを当てて 0° 、 90° 方向に曲りの有無を判定した。

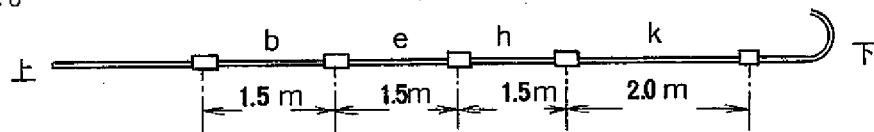


図 26 ダウンカマのサポート間寸法（設計時）

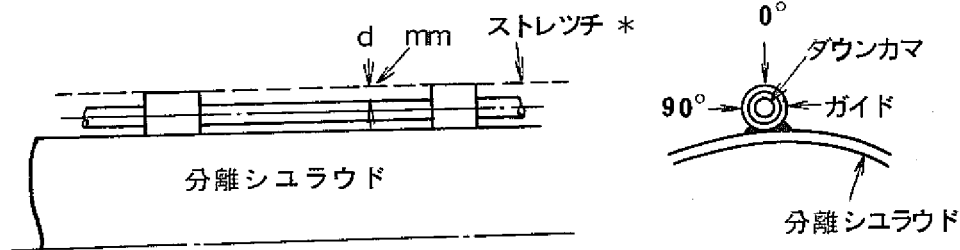


図 27 ダウンカマ変形測定法

測定結果をみると正規の d が 6.5 mm に対し ± 1 mm の範囲にあるものが 60 %、 ± 2 mm の範囲にあるものが 90 % であった。

この範囲に入らぬものは図 26 に示した b, e, h, k 位置にほぼ均等に分布しているが、その内で変動巾の最大値はダミー管における b, k の値で最大 ± 5 mm であった。 b, k の位置はいずれも固定点に近いので変形が出やすいことは考えられるが、ダミー管の方が通水管より変形が大きい傾向ということは説明しがたい。通水管で ± 2 mm の変動巾を越えるものはなかった。また、ガイド前後でダウンカマ表面に傷のあるものはなかった。

(2) デストリビュータ

ナトリウムデストリビュータの先端が曲がり、振れていた事は前に述べたが図 28 に示す位置での変形量を定量的に測定した結果は表 2 に示す通りであった。

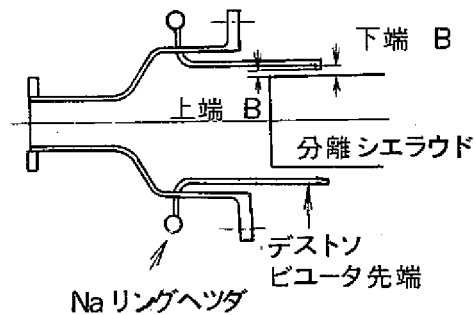


図 28 デストリビュータ変形測定位置

表 2 デストリビュータの変形量

	A - B 寸法	内部シールド とのキャップ		垂直度 (B点)
		上 端	下 端	
45°	1180	4.0	2.5	135° 側へ 15 mm
135°	1185.5	6.0	1.5	45° // 18
225°	1191	2.5	0	135° // 25
315°	1190.5	0	7.5	225° // 15

(正規の値 3.0 mm)

表 2 及び図 29 により、デストリビュータの長さも大部異なり、先端の位置も設計製作時と大部異なっている。この原因として、デストリビュータ溶接箇所 (1 本当り 4 箇所) の残留歪がナトリウム温度でなましをうけ応力除去されて変形が生じた事、先端部からのナトリウムの噴流の影響をうけて製作時のずれが拡大された事などが考えられる。(デストリビュータの先端には内部シールドの接線

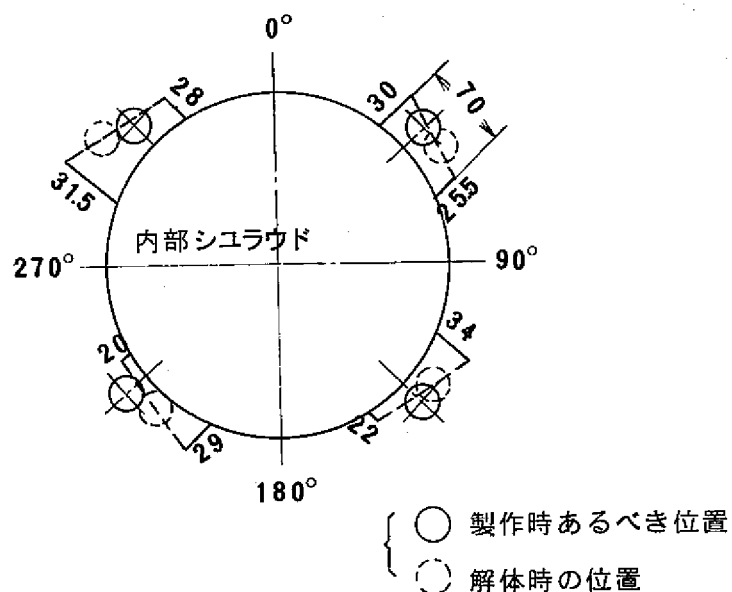


図 29 デストリビュータの変形量

方向両側に孔があいている)。

ナトリウムの流れの影響は無視できないのではないかと考えられるもう一つの例に液面計がある。前述のようにSGには2本の誘導式液面計が設置されており、内1本はデストリビュータ近傍の伝熱部に、もう1本は流れのない中心部に挿入されている。これら液面計の解体時の状況は4-7で述べたようにナトリウムの流動領域に挿入された液面計はその先端近傍でかなり変形をうけているのに対し、中心部のそれは変形を受けていない。

SGの開発計画の第2段階である50MW SGに対し、こうした曲がり、或は振れがやむを得ないものであるとすれば液面計についてはその取り付け位置についての対策を考える必要がある。またデストリビュータに対してもその取り付け位置についての対策の他にナトリウム出口孔の向きのズレがナトリウム流動分布に対してどのような影響を与えるか実験等で良く認知し、設計上の対策を講ずる必要がある。

(3) ダウンカマ下端部

ダウンカマ下端部はダウンカマ直管部の伸びとコイル部の伸びが集積する場所ではあるが、図30および表3でみるようにかかなりの塑性変形を起こしている。STBA-24の伸び量は100℃当り10mでは $1.4 \times 10^{-6} \times 10^4 \times 10^2 = 14 \text{ mm}$ 程度である。

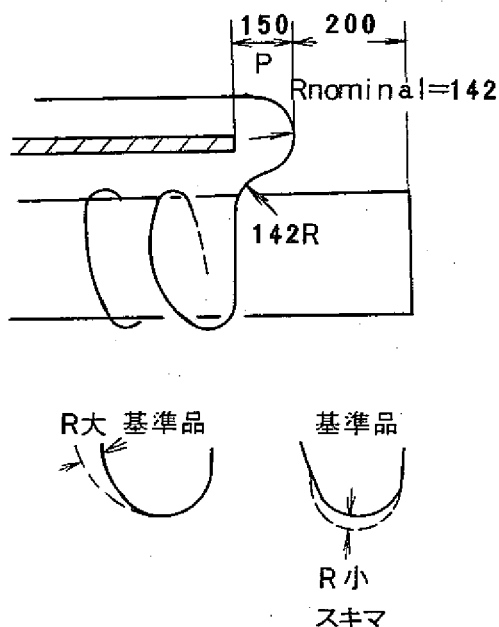


図30 ダウンカマ下端部変形量の測定

表3 ダウンカマ下端部変形量測定結果

	P	142 R	140 R
A	171	小0.5	小1.5
B	163	"	小1.0
C	114	大0.5	大0.5
D	194	小0.5	0
E	204	小2.5	小1.5
F	190	小3.5	0
G	247	大1.5	大2.0
H	237	大3.0	大0.5
J	223	小3.5	小2.0
K	133	小1.0	小1.0

単位 mm

この部分の製作時の寸法が明らかでないので、正確な評価をするのはむづかしい。しか

し図面寸法通りに製作されていたと仮定するとこの変形量は非常に大きいものであり、又変形の傾向（下に伸び方向のものと縮む方向の変形がある）が同一でないこともその原因を推論をすることをむづかしくしている。

一般的に考えるとコイル部下端の伸び（内部シュラウドの温度による）とダウンカマ下端の伸び（ダウンカマ自体の温度による）との差が生ずるとこの下端曲り部に変形が生ずる。通水管の場合はダウンカマ下端の伸びの方が他方より小さいので変形を起す可能性は大きい。一方ダミー管の場合はダウンカマ自体の温度はナトリウム温度に等しくなるためその可能性は少い。しかし計測された結果を見るとその様な傾向はない。いずれにしても変形の原因は起動、停止時の熱膨脹とスライド金具等の拘束条件により生じたものと推定されるが、何故この様な大きい変形となったか、又変形の傾向が異なるかを明確に説明し難い。原因の推定はむづかしいが、とにかくこの様な変形を生じている応力状態は設計値とかなり異なっているはずであり強度評価上極めて重大な問題と考えられる。

(4) コイル真円度

分離シュラウドを取り除いた時点で過熱域、沸騰域、予熱域の3領域に分けて10本のコイル管のコイル外径を計測した。

計測結果は854mmの理論値に対して ± 1 mmの範囲にあるもの58%、 ± 2 mmで87%、 ± 3 mmで96%最大偏差で5mmであった。従ってコイル径としては特に大きな問題はないと考えられる。

(5) コイルピッチ

図32、33は図31に示したB、E、H、Lで測定したコイルピッチを示す。

ほぼ満足すべき変化巾に入っている。両端でバラついているのは固定点に近く、その影響が表われているものと解釈される。

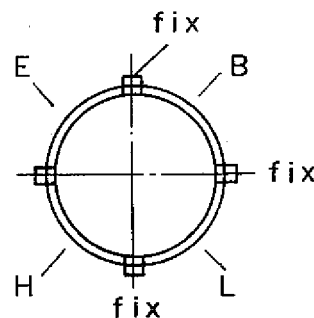


図31 コイルピッチ測定位置

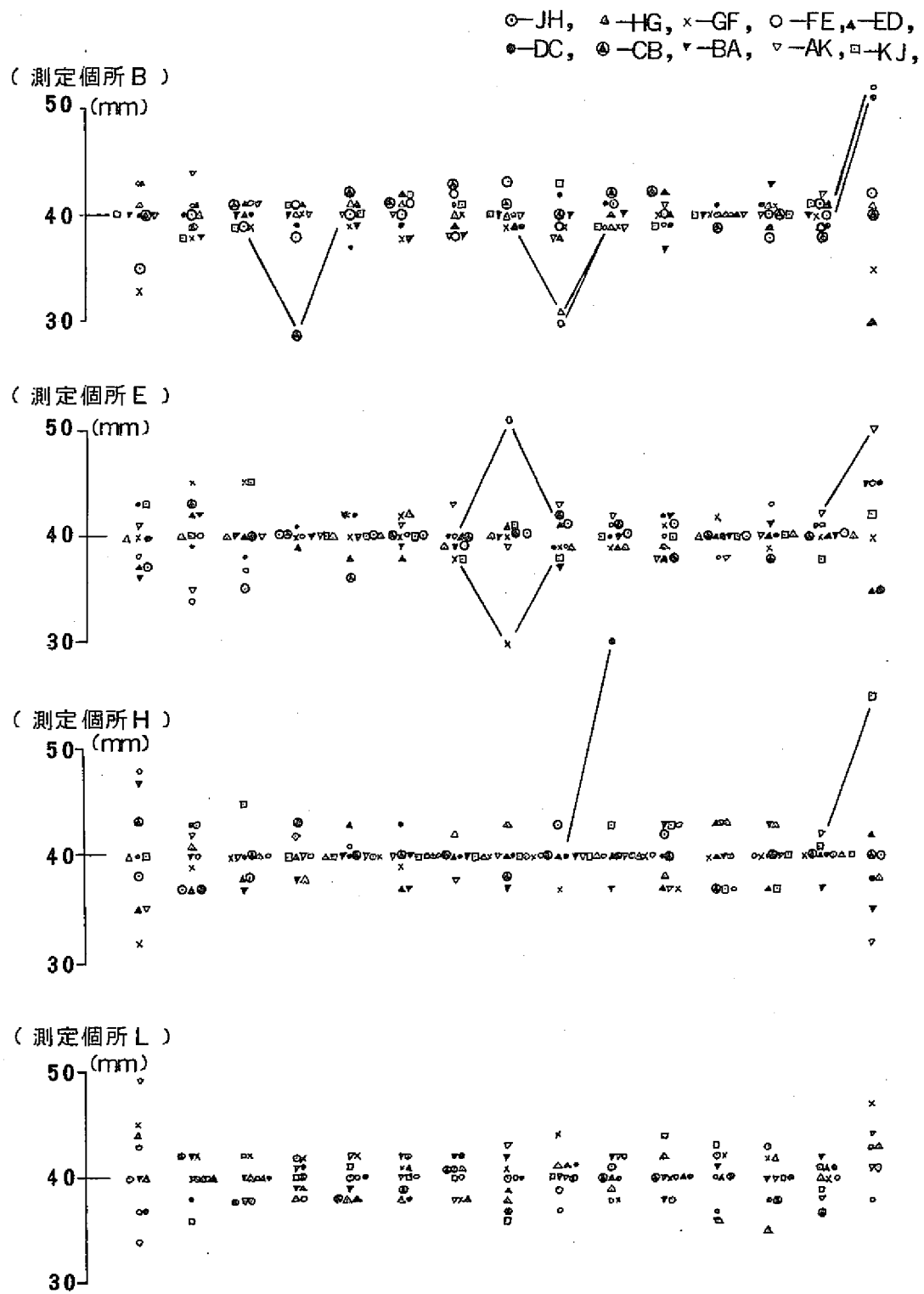


図 32 コイルピッチ変形測定結果 (a)

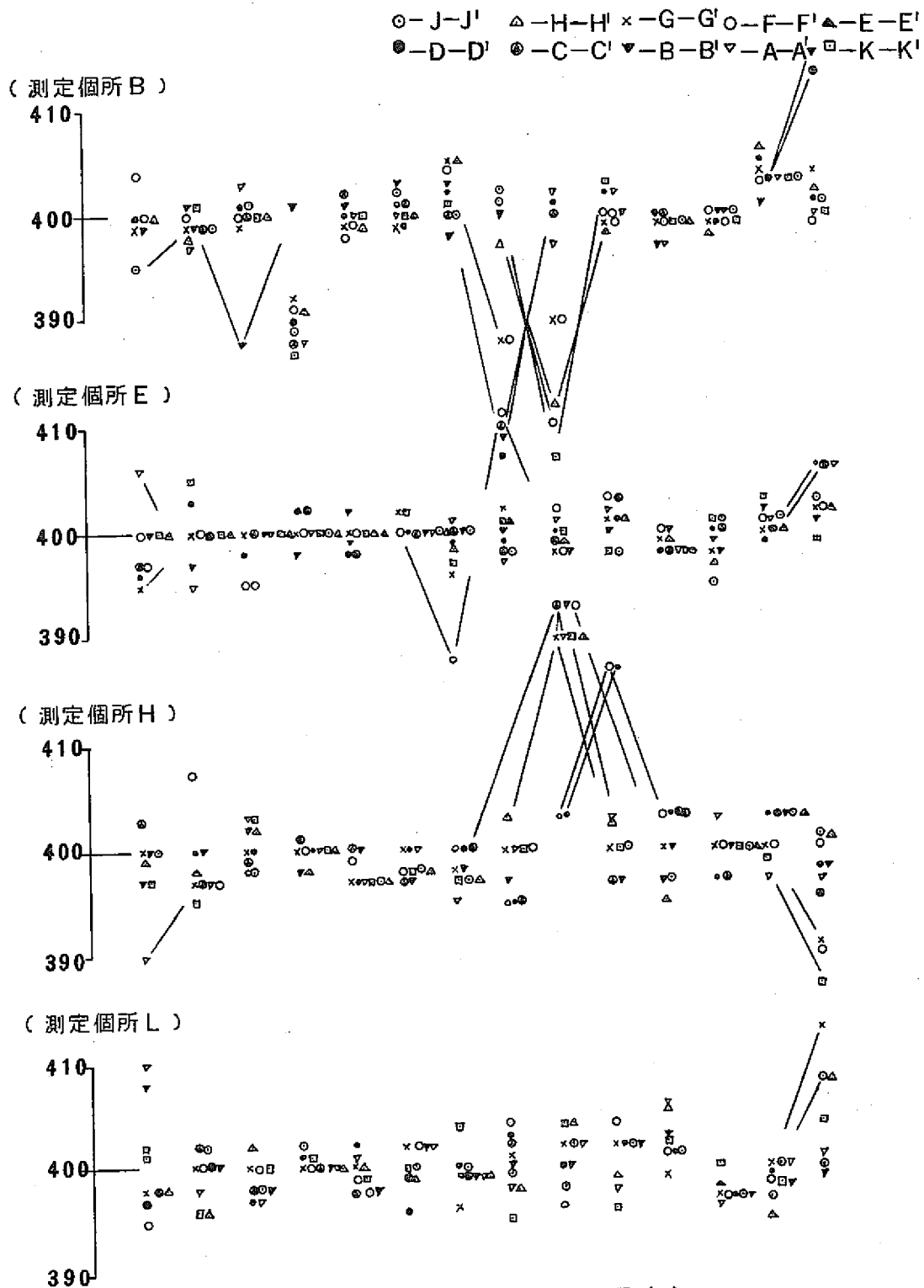


図 33 コイルピッチ変形測定結果 (b)

(6) 上昇管直管部

コイルの終端からシエル貫通部までの直管部は図34 および表4に示したようにかなり曲っている。この部分はアルゴンガス領域であり通水管（A，F管）がダミー管に比して高目に出ている事から，蒸気温度による伸びがこの部分だけで処理されているとも考えられる。

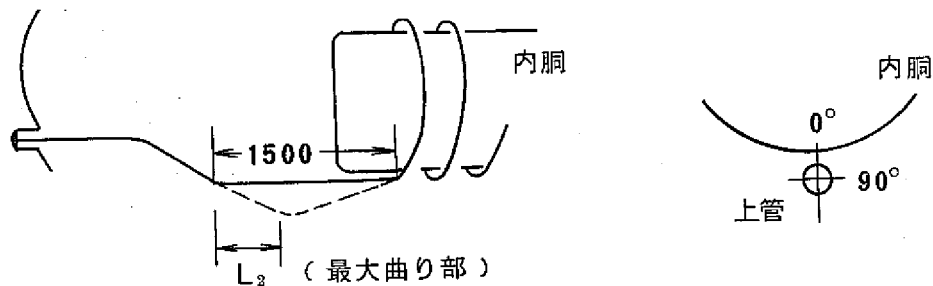


図34 上昇管直接部の変形測定法

表4 上昇管直管部の変形測定結果 mm

	$L_2 (0^\circ)$	最大曲り	$L_2 (90^\circ)$	最大曲り
A	500	1.5	500	5.0
B	500	0.5	500	2.0
C	500	0.5	500	2.5
D	500	2.0	500	2.5
E	700	2.5	700	1.5
F	300	3.0	500	6.0
G	700	2.5	700	1.5
H	400	5.5	700	5.5
J	500	0.5	500	3.5
K	700	0	700	2.0

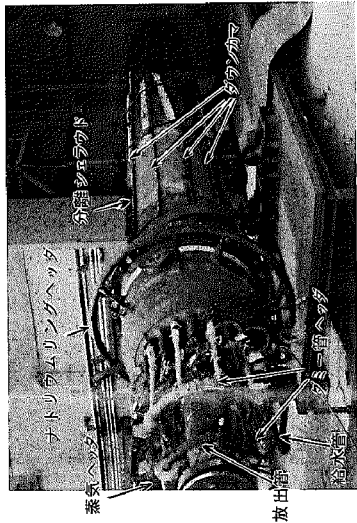


写真2 SGの様子（上鏡部）

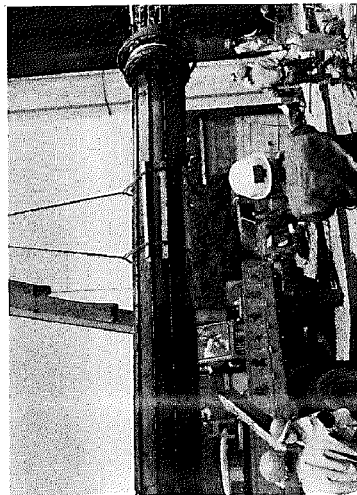


写真3 SGの様子（シエル内部）



写真4 SGの様子（分岐シエラード内部）

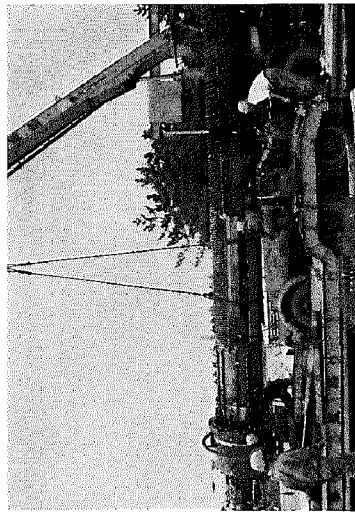


写真5 SGの様子（ヘリカルコイル部）

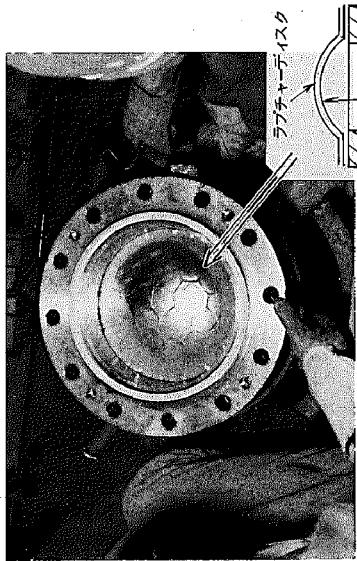


写真15 ラブチャデーディスク

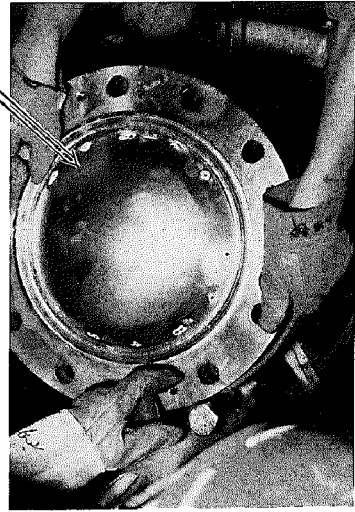


写真16 真空サポート（外側）



写真17 真空サポート（内側）の付着ナトリウムの潮解状況（空气中8分後）

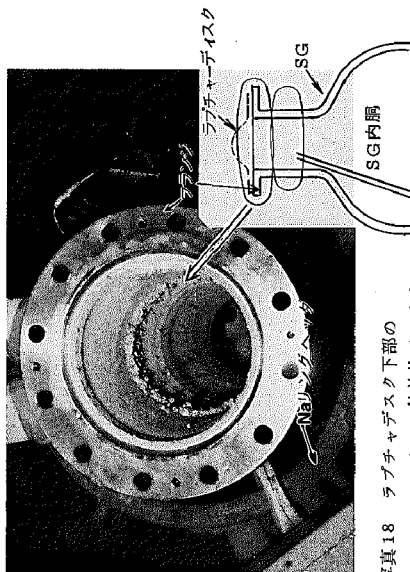


写真18 ラブチャデスク下部のナトリウム付着状況（1）

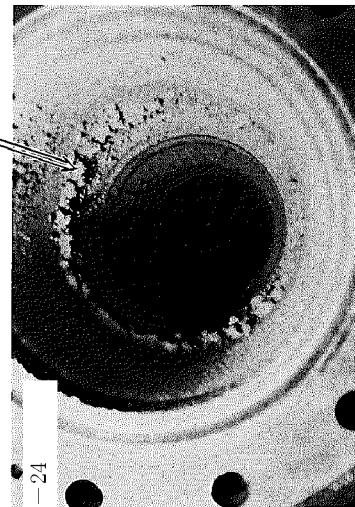


写真19 ラブチャデスク下部のナトリウム付着状況（2）

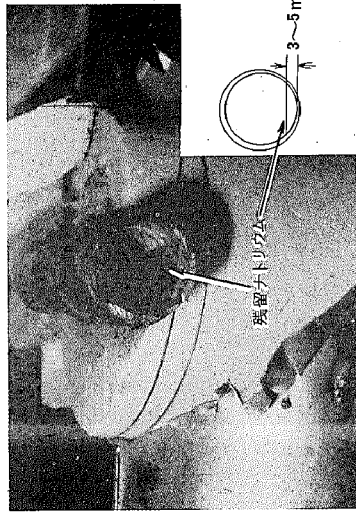


写真12 SG Na出口管

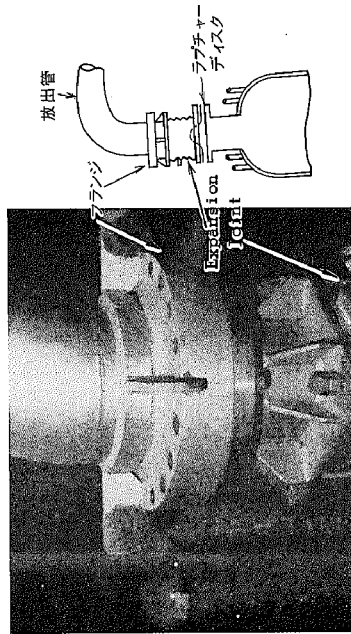


写真13 放出口フランジ取りはずし作業



写真14 破壊板の盲蓋との取りかえ作業

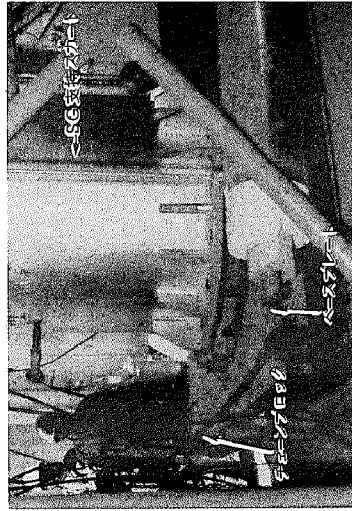


写真20 SGベースプレートひきぬき作業

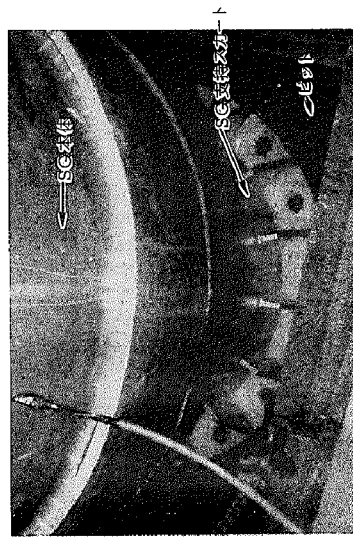


写真21 SGピットイン開始

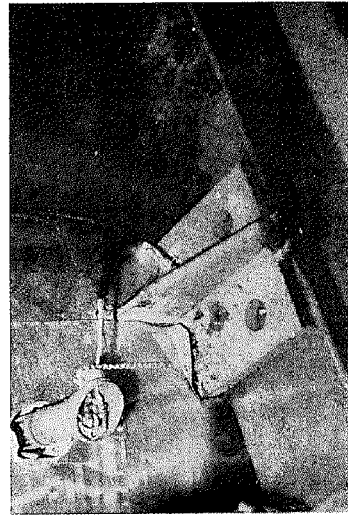


写真23 SGピット内挿入後のSG固定点

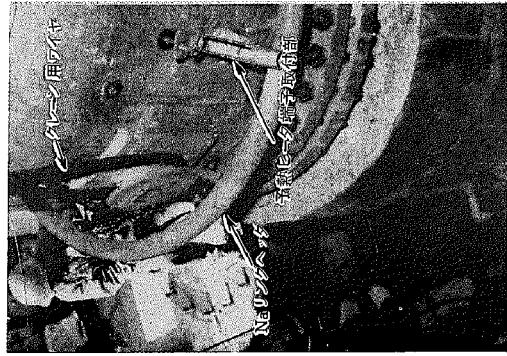


写真22 SGピットイン終了

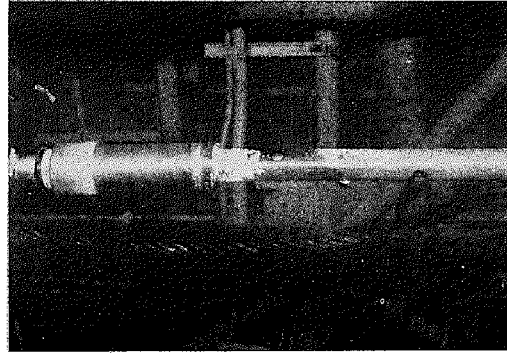


写真24 誘導式液面計の引き抜き直後の状態

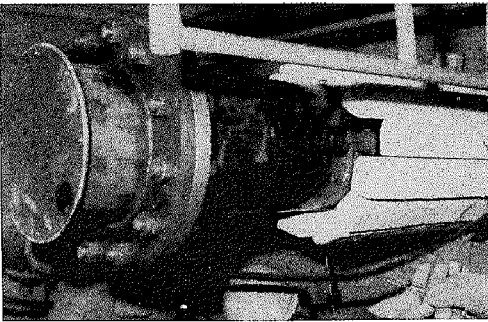


写真6 アルゴン加熱器

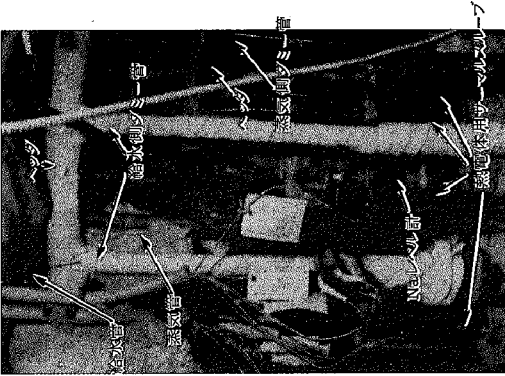


写真8 SG頂部の様子(1)

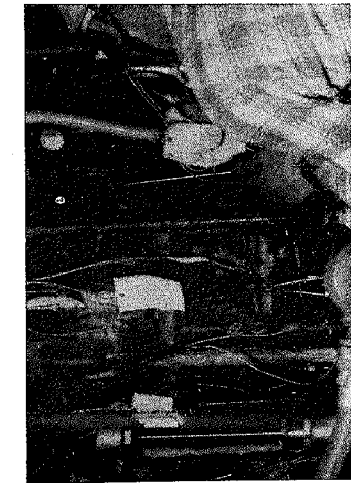


写真7 アルゴンガス加熱装置 据付工事

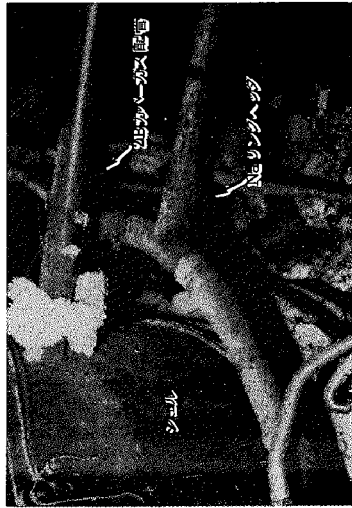


写真9 SG頂部の様子(2)

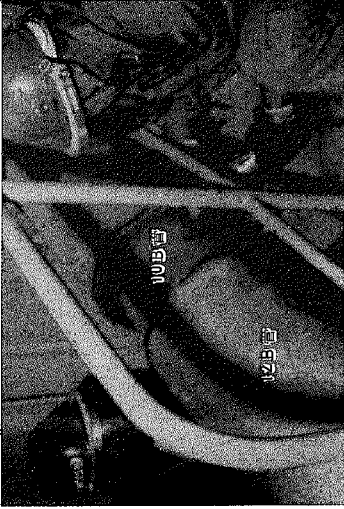
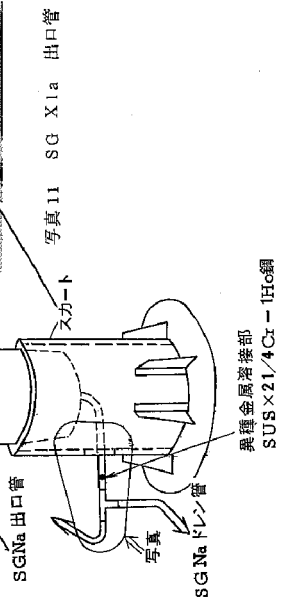
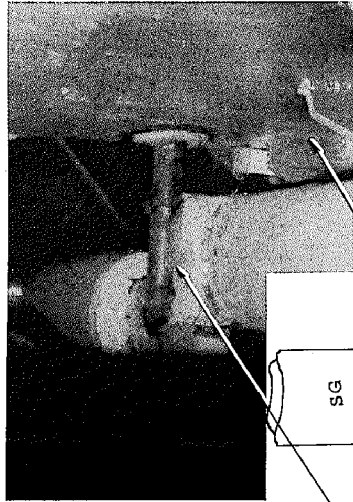


写真10 放出系切断作業



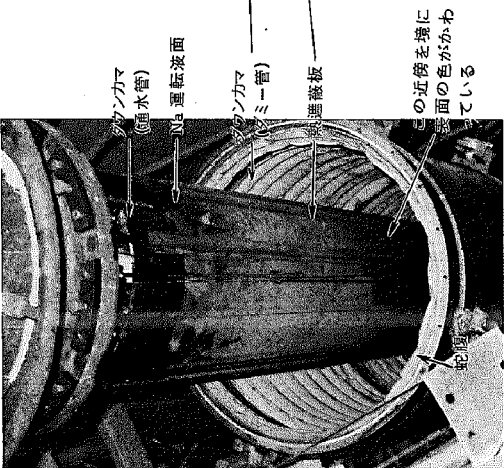


写真 31 蛇腹とりはずし状況

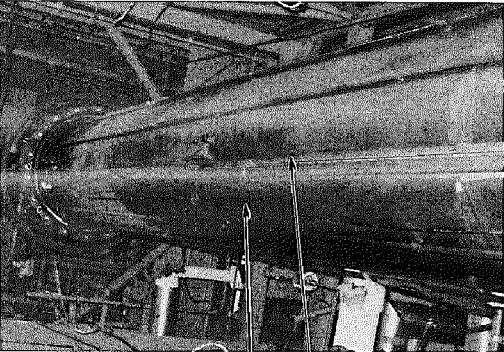
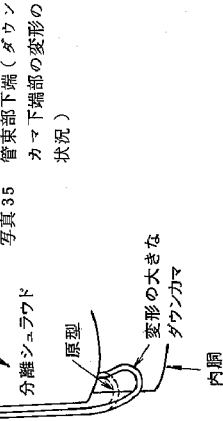
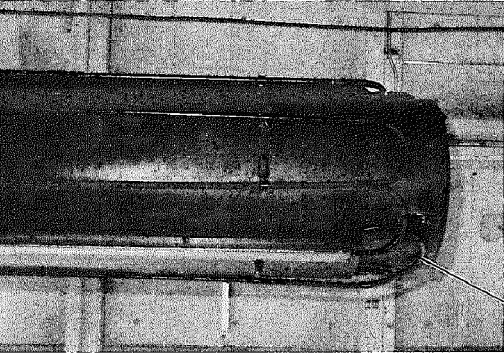


写真 32 管束部露出終了状況



変形後のダウンガマ

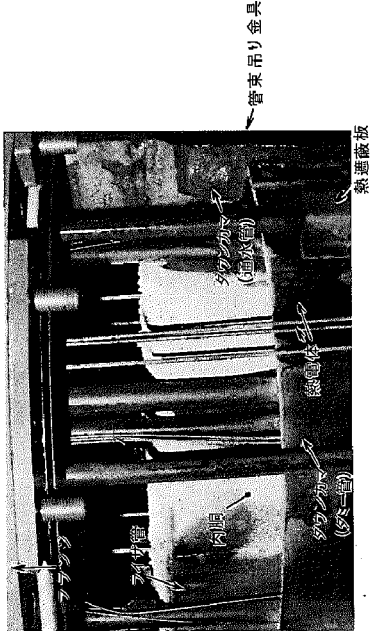


写真 33 内筒頂部



写真 34 グラインダ仕上げ部の様相



写真 43 分離シールド切断直後の状態



写真 44 伝熱管マイル部表面



写真 47 ライナータガ部 Na 付着状態

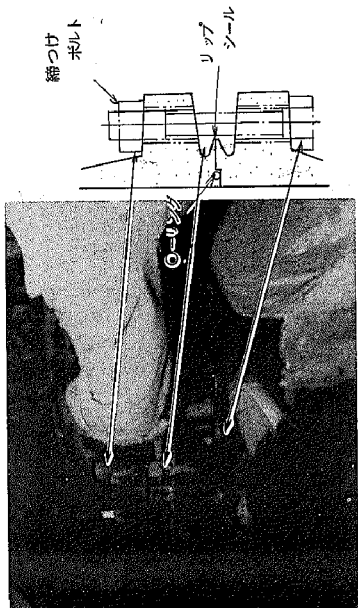


写真25 フランジ部開口作業

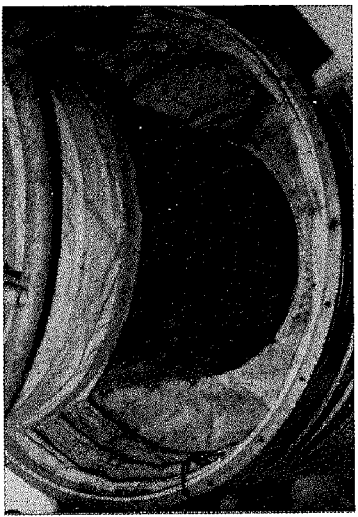


写真28 蛇腹使用作業

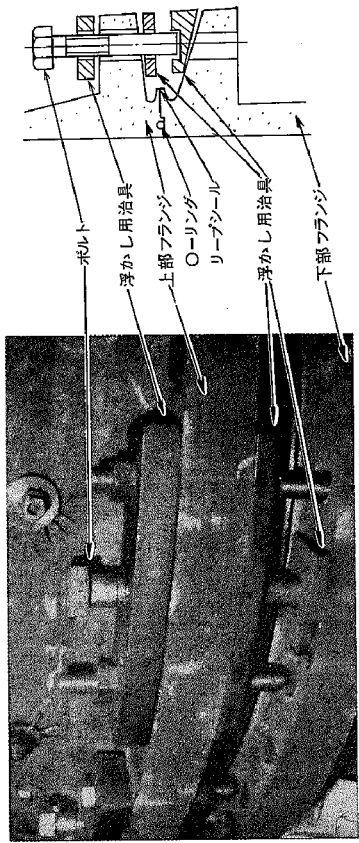


写真26 押しボルトによるフランジ浮かし状況

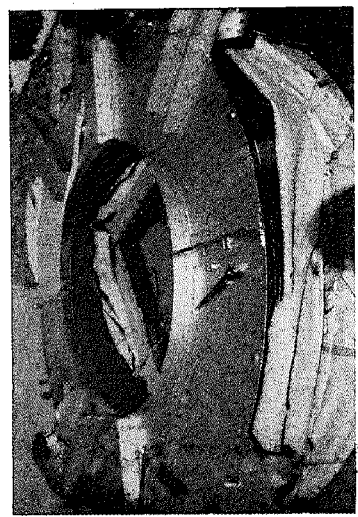


写真27 蛇腹（最上段ブロック）

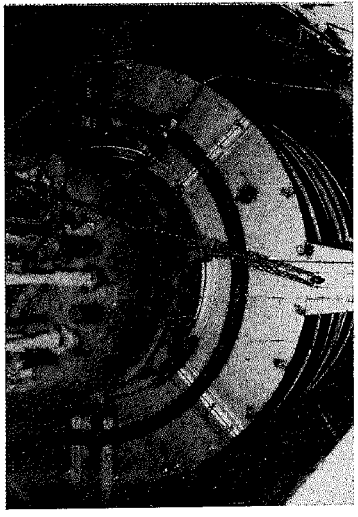


写真29 管束部引抜用蛇腹取付完了

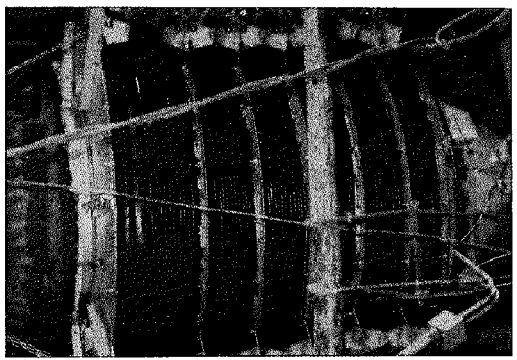


写真30 SG管束引抜き状況

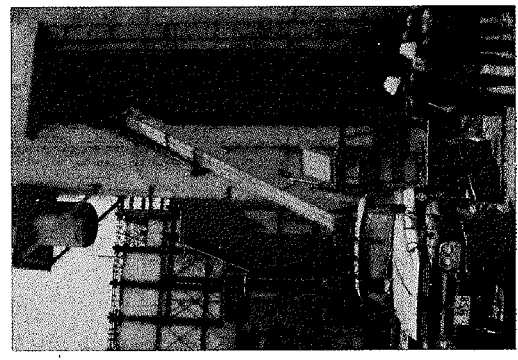


写真36 管束部搬出状況(1)

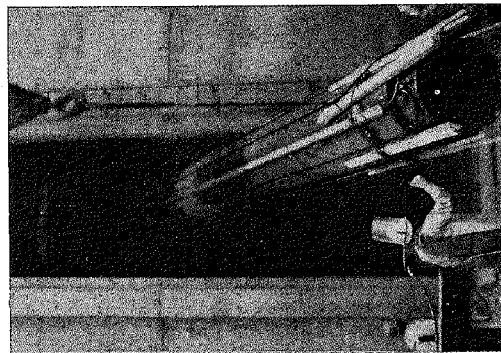


写真 37 管束部搬出状況②

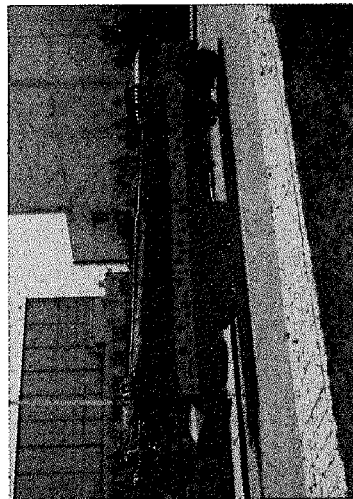


写真 39 管束部の Na 処理室への運搬



写真 40 蒸気洗浄状況

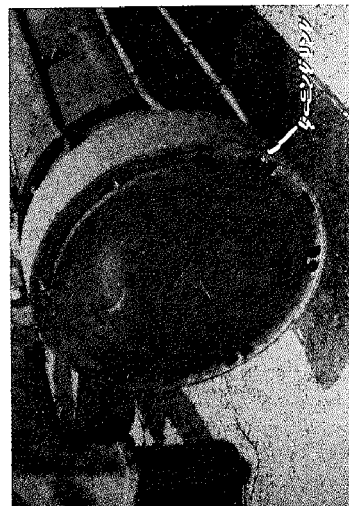


写真 38 管束部ターニングの取付

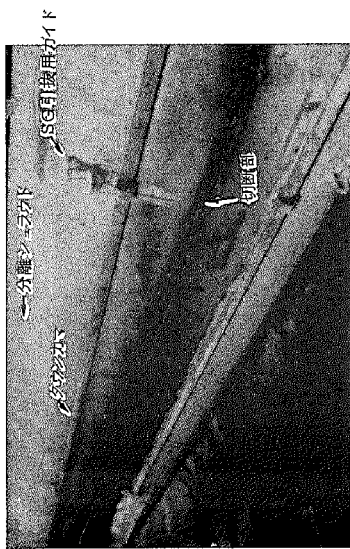


写真 42 分離シールド切断状況



写真 45 伝熱管マイル部の洗浄状況

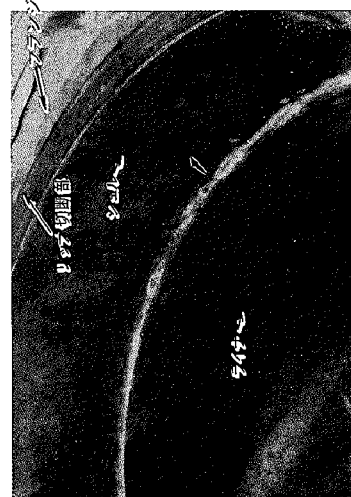


写真 41 SGシールド内部ライナー表面の状況

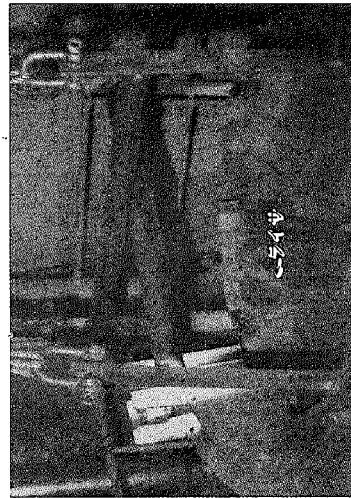


写真 46 ライナー引き抜き作業状況

8 解 体 所 見

以上に述べてきた解体、法浄工事の結果、次の各点が明らかになった。

- (1) ナトリウムドレンは極めて順調に行なわれた。操作としては400°Cで12時間、450°Cで3時間⇔等温運転を行ないそのままドレンした。その後真空状態で350°C前後の予熱状態を約60時間保持してナトリウムドレンぎりを完了した。
停滞部ナトリウムの残り具合からみてドレンは高温によるドレンだけでほぼ完了したものであると思われる。
- (2) SG各部より完全にナトリウムがドレンされていることからみて、2mm程度のギャップでもドレン箇所さえあれば後は適切な勾配とドレン時間、温度を与えてやればナトリウムは充分ドレンすることが可能であるといえる。
- (3) SG廻りの配管勾配は1/100であるが、切断してみると僅かではあるがナトリウムが残っていた。建設時の現場調整運転による移動等で勾配がほぼ0になる事もあり1/100というのは少し小さいかもしれない。
- (4) 管束部の引抜きに際し、熱変形等による拘束はなくスムーズに引き抜けた。この点では保守点検のための引抜きに問題はないと言えるが再び挿入する点では問題があるかもしれない（IMW SGでは横置き状態で挿入する場合下部鏡部を切断してガイドしてやる必要がある）。（注 その後の経験では垂直な据付状態で引抜き、再挿入が問題なく実施出来た）将来とも、管板溶接部、ダウンカマ下端曲り部の定期点検は必要となろう。
- (5) カバーガス領域では特に考慮を払わない限り、ナトリウムの蒸着はさけられないので、カバーガス領域でその機能を発揮させる破壊板等はナトリウム蒸着を防ぐ次の様な措置を講ずる必要がある。
 - ① ラブチャードスクの予熱
 - ② 蒸着ナトリウムの破壊テスト
 - ③ 定期的な点検
- (6) 液面計、ナトリウムデストリビュータの先端部が曲り、振れていた。両者ともカバーガス領域から高温ナトリウム液面部に挿入されているという点で条件は類似している。
これらはいずれも熱膨脹時の拘束等は考えられぬ場所であるので、製作、据付時の残留

歪かなまし効果の影響、または高温ナトリウムの流れの影響によって変形したものと考えられる。

従って液面計についてはその曲がりに対する余裕 ($\pm 20\text{ mm}$) を確保する必要があるが、ナトリウムデストリビュータについてはその余裕と共に、機能上 (流動分布 etc.) 影響がないかチェックしておく必要がある。

(7) カバーガス領域のフランジ部は O-リングでシールは完全に行われていた。1 度フランジ部を越えてオーバーチャシフした事もあったが、ナトリウムは O-リングで完全に遮断されていた。

(8) 伝熱管、ライナ、内胴等のナトリウム接触面には一様にザラザラした感じの黒色の付着物が認められた。これは製作段階で表面に発生した錆が還元されて残ったものか、腐食によるものか不明であるが、グラインダ仕上げのなされた部分は銀白色で様相を異にしている事から表面のポーラス性とも関係があるように思える。

現在依頼中の附着物の化学分析結果、及び今後行なう材料試験の結果等から総合的に判断したいと考えているが、いずれにしても各種のサンプル (錆が発生しているもの、グラインダ仕上げのもの、ブラスト処理をしたもの、etc) をナトリウム中でテストして、付着物の付着状況を調べてみる必要がある。

(9) コイルの真円度、軸方向のピッチ等については全般的にみて問題になる程の変形は無かったといえる。またコイル管支持部の前後で摺動傷が問題になるような箇所もなかった。しかし、コイル上端及び下端でかなり軸方向のピッチが乱れていた事は直管部およびコイル管の伸びがスライドすべき支持点で拘束されたとも考えられる。

(10) (9)に関連して、特にダウンコマ下端部はクリープ応力を受けている事も考えられ、伸びの逃がし方、強度評価に充分留意する必要がある。

9. あ と が き

第4次1MW SGは約3600時間運転後初期の目的を達し無事運転を終了した。その後解体し構造上、あるいは伝熱管等の内部構造物の材料上の問題点を解明すべく材料試験を行なっている。さらに解体後のSGは一部ダウンカマ部等に改造を加え復旧し第2次SG試験を行なう予定である。本報告書はそのうち解体洗浄工事についてとりまとめたものである。

SGの様な大型ナトリウム機器の解体洗浄に関しては我国における初めての試みであり十分な検討の上実施したが、ほぼ初期計画通りに行なわれFBRの開発の上で貴重な多くの経験を得ることができた。これは担当メーカーである(株)日立製作所を始めとする各メーカーの協力により行なわれたものであり、この機会をおかりして心からの謝意を表します。

最後に本解体、洗浄工事、特に洗浄工事は当時蒸気発生器試験室に在籍していた室員全員(佐野彰、金森昭士、保田仁司、八木沢秀治、山田栄吉、土屋毎雄、永瀬進、緒方信行、久保田、山下英俊、本名竹雄、平野晴義、鹿志村洋一、中山憲太郎、谷田部敏男、白土清一、泉喜郎、佐藤聡)の協力により遂行できたものである。

添 付 資 料

I M W 蒸 気 発 生 器 解 体 所 見

（ これは設計・製作者である（株）
日立製作所から提出されたIMWSG
解体立合い所見である。 ）

1. 現 地 解 体

a) ナトリウムドレン状況

動燃団殿にて行なわれたナトリウムドレン作業は、完璧に近いものと考えられる。残留ナトリウムは、構造的に平面となる内部シュラウド上部（写真 a），および通常運転時ナトリウム温度（ $540^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ）に比べ比較的低い温度と考えられる放出系ノズル壁面にナトリウムが蒸着していた。

しかし、構造的に隙間の小さい伝熱管固定部（伝熱管直径 25.4ϕ コイルピッチ 40mm ，支持ピン 14.6ϕ ）においては、写真 b に見られるように残留ナトリウムは皆無に近かった。また胴体とライナーとの隙間（ 8.5mm ），および分離シュラウドに設けられた 4ϕ の穴にも、つまりが認められなかった。

以上の通りナトリウムが、ほぼ完全にドレンできたことから、今回採用したドレン方法が適切であり、この方法を採用すればナトリウムドレンに関しては、構造的な問題はないと考えられる。なお、放出系ノズル壁面のナトリウム蒸着については、これを避ける場合予熱ヒータにより運転時加熱することで解決されることが考えられる。

b) 外 観 状 況

分離シュラウドにおいては、製缶品のままの部分とグラインダ仕上げの部分に相異が見られ、前者においては、とくにナトリウム液面下で、黒色ゲル状のものが表面に付着していたのに対し、後者では光沢を有していた。

この付着物を確認するため、蒸気発生器本体を工場へ搬入後、図 a に示す 4 箇所（図中 A，B，C，D）より試料を採取し、発光分光分析を行なった。その結果を表 a および b に示す。本表に見られるように大半は Fe 成分であることから製作時に $2^{1/4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の表面に発生した錆と推定される。

なお、Fe 化合物の種類については現在さらに分析中であり、その結果により付着物の発生した経過について考察できるものと考えられる。

次に、分離シュラウドを切断し伝熱管管束部を露出した時、B および G 管（神戸製鋼製 Nb 入り安定化鋼）のみは、他の 8 本が灰色金属色で表面が乾燥していたのに対し、黒色で湿った状態であった。この両者の相異理由については、不明であり今後行なわれる予定の材料評価試験結果により考察できるかも知れない。

2. 工 場 内 解 体

a) 下降管下部の変形

下降管下部は、曲げ半径 140mm において設計、製作されたが、解体時 G 管（神戸製鋼製

STBA24)のみに変形が見られた。比較のために正常なものと、変形したものを写真c, dおよびeに示す。写真cは、A管(住金製STBA24, 通水管), 写真dは、B管(神戸製鋼製STBA24, ダミー管), 写真eは、G管である。A, B管は正常であるにもかかわらず、G管は大きく変形している。

この変形状態を見ると、U字管と下降管直管部との溶接位置が、A, B管に比べ下方に移動していることから、変形は上昇管のヘルカルコイル側からの伸びに起因するものではなく、下降管側の原因によるものと考えられる。また変形モードを見ると一様な曲げRで変形せず、写真eの下部に直管部が見られるが、これはこの部分に突合せ溶接部が存在しており、溶接による硬化のためにこのような変形モードになったものと推定される。

下降管側が異常に変形した理由としては、次の項目が考えられるが、現段階では明白でない。

- 1) 製作時点で何らかの原因で無理な応力がかかり、それが高温ナトリウム中でstress reliefした。
- 2) 高温クリープ歪

なお、G管と同じB管において異常が認められないことから、材料による違いは、無いと考えられる。

b) ナトリウムデистриビュータの捩れ

デистриビュータの変形は、図bに示すごとくであった。

すなわちデистриビュータの下降管端部が、設計値に対し円周方向にそれぞれ①+2.1°, ②-2.5°, ③-2.4°, ④-2.1°(+時計方向, -反時計方向)ずれていた。またそれぞれの位置において、ナトリウム出口穴の方向が時計反方向に2.9°~9.8°の範囲で捩れていた。

前者の下端部の変形の原因としては、1) stress relief, 2) 流れの反力, 3) 製作時の誤差などが、また後者の穴方向の捩れの原因としては、前者と同じような原因があげられるが、いずれについても運転前の寸法実測値がなく、比較ができないことから原因をつかむことは困難である。

c) ヘリカルコイル支持金具部の変形

コイルの曲げRの測定として、予熱、沸騰、過熱の3領域においてピン支持部(円周4箇所にて支持)およびその中間部が行なわれたが、G, H, J管の90°方向において他の部分に比べて幾分大きな値(曲げ半径が大きい)となっているが、これはコイル製作時に設定値(中心半径R=402.5mm)より幾分大きなRとし、それを支持ピンにより固

定する方法を採用しているため、このようなアンバランスが支持ピンを自由にした時出る可能性はある。

ただこれらの管（G，H，J）より高温領域のものが、比較的良く一致していることを考えると、温度によるなまし効果がある程度原因しているとも考えられる。

d) 内部シェラウドの変形

内部シェラウドの変形測定結果を図cに示。変形は両端を基準とした場合、中心部において大きく最大 9mm となっている。運転前の寸法実測値がないため、高温ナトリウム中での影響については何とも言えない。

本品は、長尺の製缶品であることから（全長に対する変形最大値 = 0.11%），製缶公差および溶接による変形が影響しているとも考えられる。

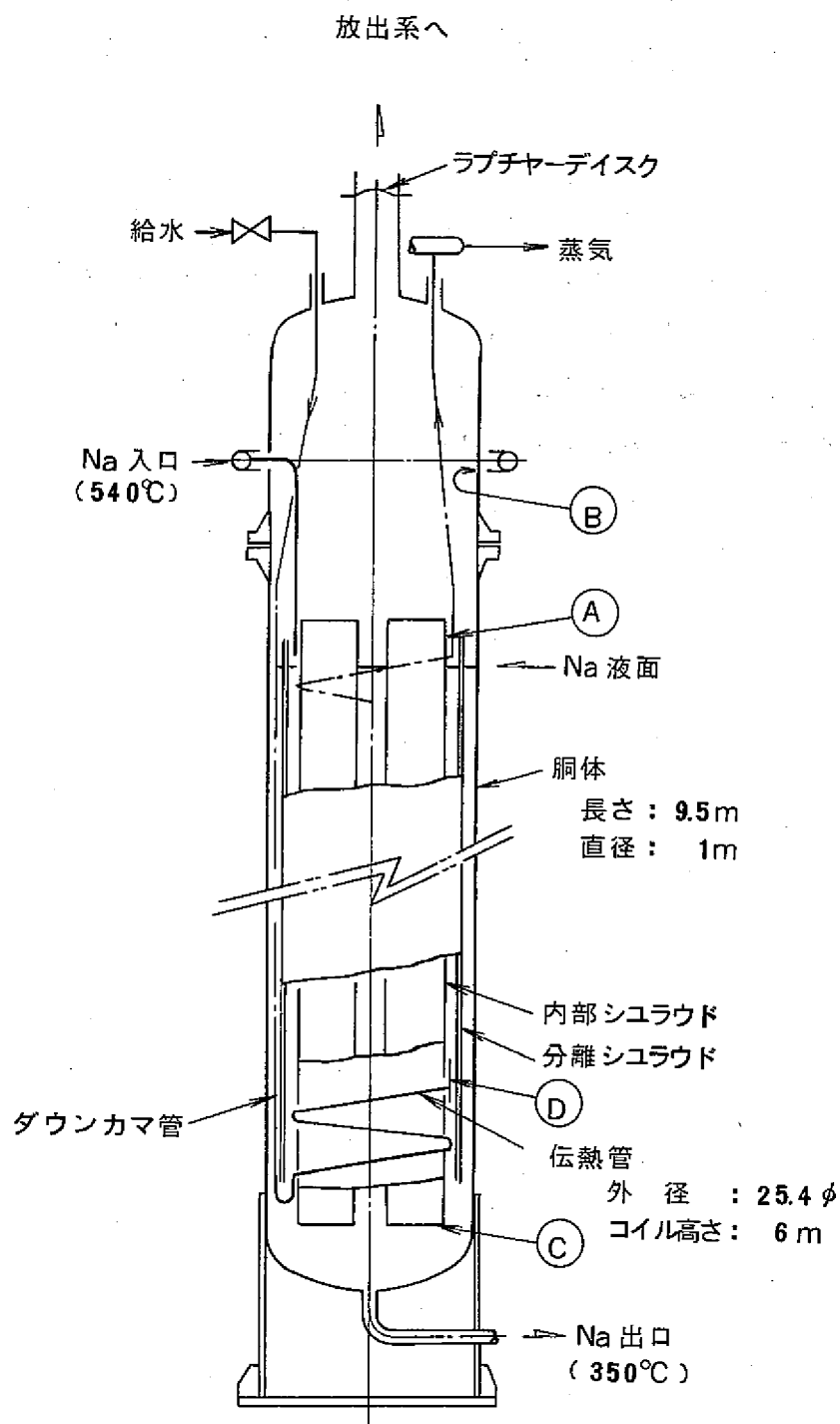


図 a 蒸気発生器本体

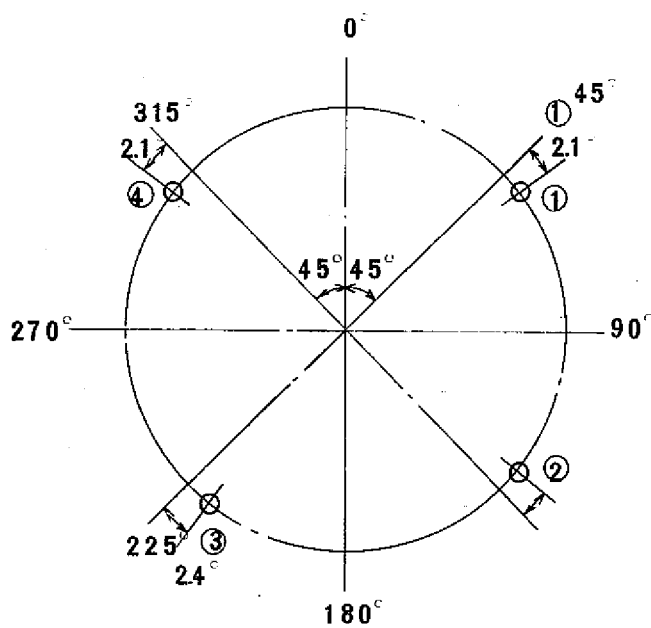


図 b - a 下端部の変形

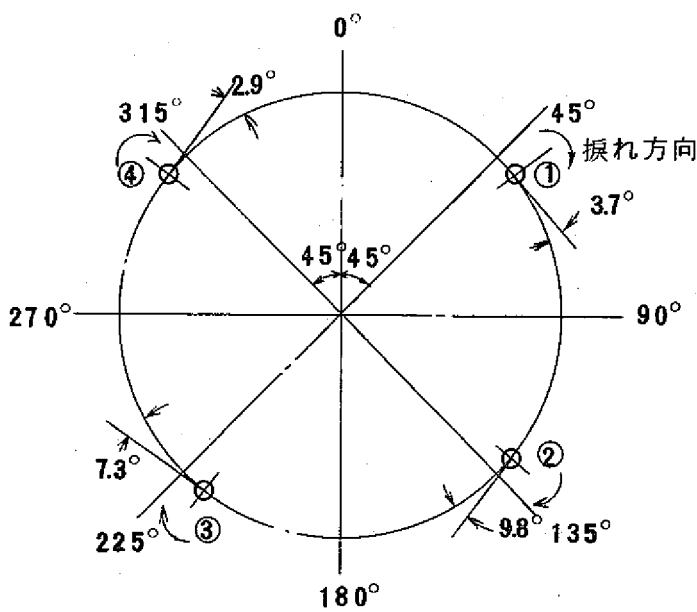
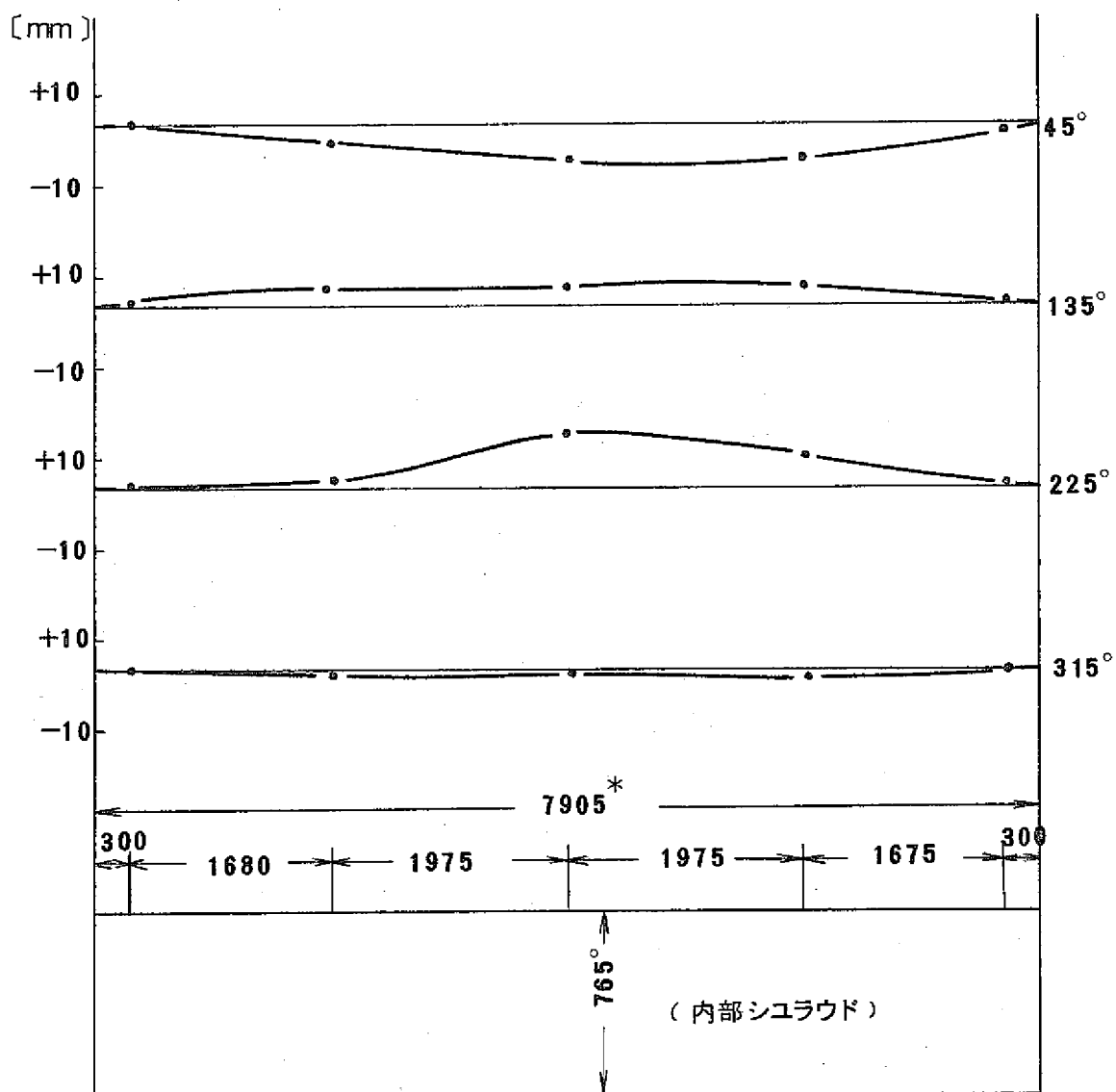


図 b - b 下端部の換れ

図 b ディストリビュータの変形



注) +は外側, -は内側を示す

* : 両端の溶接ビードは含まれていない

図c 内部シールドの変形

表 1 発光分光分析報告書

報告 47 年 7 月 21 日

第 S 0172 号

日立研究所
第 7 部 第 7.1 研究室

依頼元: ⑨ 同業試験研. 課

試料名: 東京電力燃料貯蔵物

単 位: _____

取	鑑	担	当
		71.6 白土 31-1	71.6 中山 47.21

No. \ 成分	Ba	Cr	Ca	K	Ni	Ti	Na	Cu	Sn	Mo	Al
A ●	±	+++	+	++	++	+	+++	+	±	++	+
B	±	+++	+	++	++	+	++	++	±	++	++
C	±	+++	++	++	+	+	++++	+	±	++	++
	Fe	Si	Mg	Pb	Mn						
A	+++++	++	+	±	+						
B	+++++	+++	+	±	+						
C	+++++	+++	+	±	+						

分 析 条 件	装 置: JACO エバート型 3.4m 回折格子 分光写真機, Custom Varisource 分 散: 5Å/mm, (1 次スペクトル) 集光系: スリット結像 乾 板: コダック SA-1 富士プロセス 発光源: 直流アーク アーク電流: 10A	成分の含有量は次のように表示した		
		表 示	スペクトル線	含 有 量
		+++++	非常に強い	非常に多量
		++++	強 い	多 量
		+++	弱 い	少 量
		++	非常に弱い	微 量
		+	僅かに認められる	痕 微 量
		±	痕 跡	痕 跡
		-	認められない	認められない

含 有 量 推 定 基 準	± を表示される各元素の検出感度 (単位: %)											
	Ag 0.0001	Al 0.001	As 0.1	Au 0.001	B 0.001	Ba 0.0001	Ca 0.0001	Co 0.0003	Cd 0.01	Cr 0.0001	Cu 0.0001	Fe 0.001
	Ga 0.001	Ge 0.001	Hf 0.01	Hg 0.03	K 0.1	Li 0.003	Mg 0.0001	Mn 0.0003	Mo 0.001	Na 0.01	Ni 0.0005	P 0.1
	Pb 0.001	Pt 0.001	Sb 0.003	Si 0.001	Sn 0.001	Sr 0.001	Ta 0.03	Ti 0.0003	U 0.1	V 0.0003	W 0.01	Zn 0.002
	Zr 0.001	Nb 0.01	Be 0.0001	Bi 0.0003								
所 見												

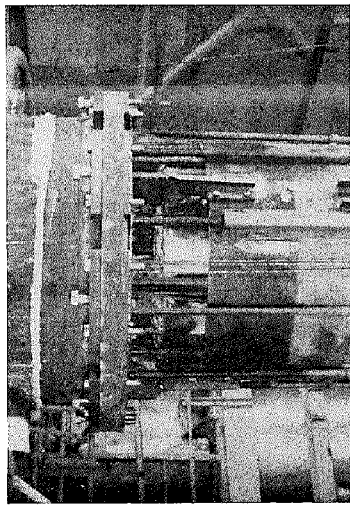


写真 a 内部シュウウド上部残留ナトリウム

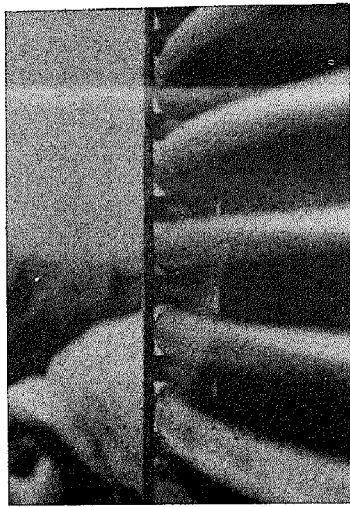


写真 b 伝熱管固定部



写真 c 下降管下部 (A 管)



写真 d 下降管下部 (B 管)

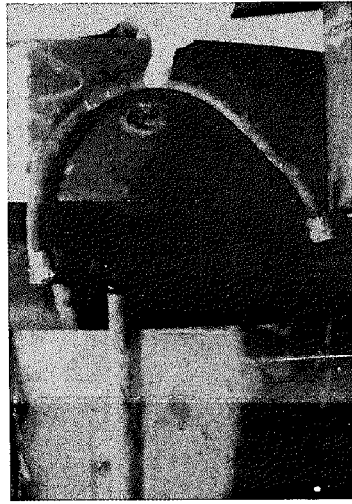


写真 e 下降管下部 (G 管)