

1MW(第2次)蒸気発生器における 伝熱管水リーク報告書

1976年6月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

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

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

1MW(第2次)蒸気発生器における 伝熱管水リーク報告書

報 告 者

八木沢 秀治 *	佐野 彰 *
保田 仁司 *	河原 愈 *
泉 喜朗 *	吉川 雄治 **
長井 秋則 *	川真田 和雄 *

期 間 1973年1月18日～1976年6月30日

目 的 ナトリウム加熱蒸気発生器の安全性および信頼性開発研究の資料とする。

要 旨

1MW蒸気発生器は開発研究の進展に伴い、これまでのシェル&チューブ式から、二重管式（不安定現象試験装置）に置き換えられた。そこで、これを機会に、これまで開発途上であつたため断片的にしか報告されてなかつた。1MW(第2次)蒸気発生器の2回にわたる伝熱管水リークについて、総合的に取纏め水リークの詳細をあきらかにするとともに、資料の散逸防止を計った。

すなわち、本報は2回の伝熱管水リークにおけるリーク現象や補修を通じて得られた貴重な経験を集約したもので、今後の大型蒸気発生器開発の安全性、信頼性向上の指針となり得るよう、次の点を明らかにした。

- (1) 水リーク検出系と蒸気発生器の隔離法
- (2) リーク管の検出と規模の推定
- (3) 補修法
- (4) 構造上の問題
- (5) 蒸気発生器開発上の問題点

また、本蒸気発生器は洗浄解体され、材料検査されているが、その材料評価上も参考になる様、意を払っている。

* 小型蒸気発生器試験室

** 石川島播磨重工業(株)

*** 日立製作所 日立工場

目 次

1. 緒 言	1
2. 第2次(復元)SG施設の主な改良点と運転経過	3
2.1 改良点	3
2.2 運転経過	23
3. 第1回伝熱管リーク	30
3.1 リーク現象と処置	30
3.2 リーク確認試験	38
3.3 解体検査	40
3.4 Naの純化と隔膜式水素計試験	47
3.5 原因究明と対策	49
3.6 補修、改造工事	57
3.7 SGのNaによる洗浄運転	67
4. 第2回伝熱管リーク	74
4.1 リーク現象と処理	74
4.2 リーク確認試験	79
4.3 解体検査	86
4.4 原因究明と対策	96
4.5 補修工事	101
4.6 補修後のSG運転経過	107
5. 考 察	111
5.1 水漏洩検出器の評価	112
5.2 欠陥部の構造的検討	118
5.3 Na潮解液の構材に与える影響とその対策	123
5.4 伝熱管のリーク検出法	125
5.5 リーク規模の推定	127
5.6 プラギング計の二重ブレーク物質の検討	134
5.7 1, 2回水リーク結果の纏め	139
6. 結 言	144
7. 参考文献	147

1. 緒 言

1 MW蒸気発生器試験施設（以下1 MW SG施設と略称）は、第1次SGが昭和46年4月～昭和47年4月にわたり運転され、種々の試験が行なわれたとともに^{1)～4)}、問題等も提起された^{5) 6)}。このSGは解体検査や、その後の材料試験を目的に解体洗浄された⁷⁾。その後のSGは外胴（シェル）、内部シラウドおよびダウンカム（下降管）の一部を除いて、すべて材料試験のためのテストピース採取材として供与された。

ここで採取された試験片はSGメーカや鋼材メーカについていろいろな材料試験がなされ、その結果が報告されている⁸⁾。

この第1次SGによる各種性能試験および材料試験等で問題となった点をさらに究明すべく、第2次SGとしてシェル、内部シラウドおよび給水下降管の1部材を転用し、さらに種々改善を施した第2次SGを復元した^{9) 10)}。

このSGは静特性や動特性試験の他に、特に材料試験を目的とした耐久性試験を行なうことになっていた。

第2次SGは昭和47年末に予定通り据付工事を終了し、水系の定期点検等を経て、翌48年1月より運転が開始された。これらの運転経過はSGによる初期汚染Naの純化を経て、SGの本試験に入ってまもなく、コールドトラップのリーク事故があり¹¹⁾、約1週間の補修期間を要した後、再スタートされた。この圧力、温度の上昇過程において、今回改造した部分であるダウンカムと熱遮蔽管との溶接部に第1回の水リークが発生した。

リーク個所の補修はNa付着のまま、ビニールカバーによりアルゴン雰囲気を作り、この中で管束の引抜や補修作業が進められた。しかし、補修の進行とともに作業のためのビニール開口部付近よりNaの潮解が起り、それによる構材の苛性脆化や腐食の問題が生じてきた。これら潮解によって生じた水酸化ナトリウム(NaOH)は、種々検討のすえNa自身で洗浄化が試みられたが、さらにNa水反応にて生じた不純物の除去についても行なわなければならなかつた。

これらの経過をたどりながら、昭和48年11月に補修されたSGにより試験運転が再開されたが、水系の圧力上昇過程において再び第2回目の伝熱管水リークが発生した。本報告書はこれらの2回の伝熱管水リークの全貌について纏めたもので、特に次の様な点をあきらかにするよう意を払っている。

(1) 第3次(御元)SUSの改造内装

- (2) 復元SGの運転経過

(3) リーク箇所とその原因

(4) 検修内容

(5) 水リーク後のNa細化と補修後SGのN₂による浄化

第2次SI施設としての改造はSG本体をはじめ、水蒸気系、ナトリウム系、計制御系の全系におよぶが、ここでは、伝熱管のリーカに関するものにとどめた。運転性能についても全般的な経過の水リークの発生前後況等について説明した。

さらに、リーケ時の処置（停止操作）やその後のリーケ確認試験は2回のリーケが1回目はカバーガス中と、2回目はN₂中にとそれぞれ異なったモードで起つており、それがわの対応策も異なっている。

各種水素計の挙動についても同様で、カーバーガス中と Na 中では、応答時間に差が出ていたなど興味ある結果が得られているなど、これらについても述べた。

なお、これらの懸念についてはすでに当時の関係者（佐野、吉川兩室長）などから、国内外に発表されており^{12, 13}、5 MWSC の設計製作などにも反映されってきた。

しかし、ここでさらに詳しい報告書を発行するに至ったいきさつは、この 2 回の水リーケを起した SG が約 1 万時間運転された後、解体洗浄され、材料試験が行なわれているためで、その材料評価上、これまでの経験をあきらかにしておく必要が生じた。そこで本報告はリーケ発生から補修までの一連の経験やその後の運転経過を述べた他にその過程であきらかにされ得なかつた Na - 水反応に関する安全性や信頼性の面についても、考観を加えて、今後の材料評価とともに大型 Na 加熱蒸気発生器の開発にわざが役立つことを目的としたものである。

卷之三

政治小説の歴史とその変遷

- 第2次SUS施設としての改造はSUS本体をはじめ、水蒸気系、ナトリウム系、計測制御系の全系におよぶが、ここでは、伝熱管のリードに関連するものにとどめた。運転経験についても全般的な経過の水リードの発生前状況等に主眼を置き説明した。

さらに、リーケ時の処置（停止操作）やその後のリーケ確認試験は 2 回のリーケが一回事目はカバーガス中と、2 回目は Na 中で、それぞれ異なったモードで起つており、それの対応策も異なっている。

各種水素計の挙動についても同様で、カバーガス中と Na 中では、応答時間に差が出ているなど興味ある結果が得られているなど、これらについても述べた。

なお、これらの概要についてはすでに当時の関係者（佐野、吉川阿庭氏）などから、国内外に発表されており¹³、50 MW SCS の設計製作などにも反映されてきた。

しかし、ここでさらに詳しい報告書を発行するに至ったいきさつは、この 2 回の水リーケを起した SG が約 1 万時間運転された後、解体洗浄され、材料試験が行なわれているためで、その材料評価上、これまでの経験をあきらかにしておく必要が生じた。そこで本報告はリーケ発生から解体までの一連の経験やその後の運転経過を述べた他にその過程であきらかにされ得なかつた Na - 水反応に関する安全性や信頼性の面についても考察を加えて、今後の材料評価とともに大型 Na 加熱蒸気発生器の開発にわざかでも役立ててやれるようになると取組めたものである。

۰۱۷۶

改造S01の復元に付随して、水蒸気系においては補助ポンプの増設、給水ポンプのバッキンガム方式の変更、安全弁フランジングラインの追加、排水処理装置の付設、後水タンク入口配管系安全弁の追加、FWH凝縮水配管係の変更。Na系においては、隔壁膜式水栓計の設置、コールドトラップの交換。計制御系としては動特性計装盤の増設、データレコーダの新設、データロガーの新設など、新設や改良が行なわれた。またS01本体では伝熱管材質(Nb安定化鋼をやめ、すべて $2\frac{1}{4}$ C-0.1Mn鋼とした)の統一や、伝熱管(過熱部)肉厚変更、これに伴なう表1の球に最高使用条件の変更、燃電対本数の増加、さらに今回の伝熱管リーカーの直接原因となつている。ダウンカマにカバーガス管(熱遮蔽管)を設けたこと、およびこのカバーガス管中のNaレベル制御系を追加したことなどがである。

ここでは伝熱管リーカーの直接原因となつているダウンカマの熱遮蔽管について、および水リーカー時の水素モニタとして関連性のあるガスクロサンプリングラインの短縮、Na中水素モニタ装置およびSGとダウンカマ管のNaレベル制御系等について

2. 1. 1 ダウンカマの熱遮蔽構造

図1は第1次SG体であるが、このSGにおける実際のタウンカマの熱通過量は設計時の数倍になつており、そのためタウンカマの吸熱が大きくダウンカマ下にして時々、沸騰不完全現象が発生した。

第2次S日ではこれらの問題を解決すべく、ダウンカマにて図2に示した様な熱しやへい管を通して水管2本にそれぞれ設けた。熱しやへい管内N₂レベルはSG本体カバーがガス圧と熱しやへい管に供給するアルゴンガス圧との差により任意に変えるようになっている。なお熱しやへい管内のN₂レベルは着床のみで感知している。

ため、高さ方向の密度の違い（温度分布）により正確な値をつかむことがむずかしい。そこで燃しゃへい管内の高さ方向点に図2の1'~Cと記した位置に熱電対を挿入しておき、その点の温度変化によってレベルを正確に知ることができるようにした。ただし熱電対の取付部は1本のみ（A管）であり、かつ実際上のNaのあるなしで、どの程度の温度変化が生ずるものかは具体的には不明であった。

表1 蒸気発生器主要目と最高使用条件の変更

第1次SG(後元前)		第2次SG(後元後)	
熱出力(MW)	1.2	—	—
Na入口温度(°C)	540	520	—
Na出口温度(°C)	350	—	復元後は伝熱管内厚変更により破壊には多少異なる
給水入口温度(°C)	240	—	—
蒸気出口温度(°C)	513	—	—
蒸気出口圧力(kg/cm²g)	1.73	—	—
Na流量(kg/h)	1.792×10⁴	—	—
給水流量(kg/h)	1.888×10⁶	—	—
最高使用圧力(kg/cm²g)	1.85	1.82	—
u温度(°C)	540	520	—
伝熱管肉厚(mm)	蒸発部 4.2 過熱部 5.0	—	4.2
伝熱管材質	2 1/4 Cr-1Mo鋼 Ti-Nb, (住金) Nb (神戸)	日本鋼管 神戸製鋼 既設管を使用	2 1/4 Cr-1Mo鋼 住友金属KK JIS標準 外径:15 内径:14 壁厚:6.5mm 乙行管:24Cr-1Mo鋼 管体長さ:9.5m 管管:24Cr-1Mo鋼 6700mm 神戸 日本 住友 TiNb安定化

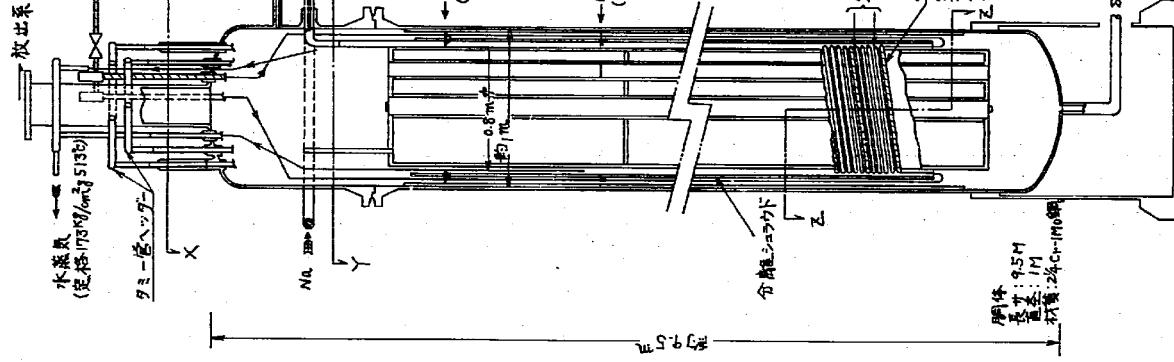


図1 IMW蒸気発生器本体図(後元前)

熱しやへい管の伝熱管への取付けは図3(a)に示したように燃焼しゃへい竹の、上端においてスミ向斜波構造となっている。

図5(a)は、伝熱管の取れし部分に金具の取付をしたもので、やはり伝熱管と肉密接構造がとられている。この様な金具には、熱伝導の取付とN_Aの適用則

して、3.5 キの穴が円周方向に沿って 8 個あけられている。ただし図 2 でもあきらかに燃焼室の下端に位置する振れ止め金具の貫通穴は、これより上部の熱伝対がすべて通してあるため、N₂ の流用には、4 個のみとなる。

図4は依然管の振れ止め取付位置を示したもので、第2回リーフ補修時にあきらかにされたものである。この図ではF管の振れ止め具は2個であるが、それまで製作図からみてA、D管とも4個づつの振れ止めが付いているものと思われていた。

This technical diagram illustrates a heat exchanger system, likely a heat pipe or similar passive cooling mechanism, integrated into a reactor vessel. The system consists of several horizontal tubes and a central vertical tube.

- Top Level:** A horizontal tube labeled "アルゴン・ガス充填" (Argon gas filling) contains "Na" (Liquid Sodium). A dimension of "805φ" is shown.
- Middle Section:** A horizontal tube labeled "Na の流れ" (Flow of Na) contains "Na". A dimension of "400" is shown between two circular ports.
- Bottom Section:** A horizontal tube labeled "下降管 (ダウングラム)" (Downward tube) contains "Na". A dimension of "1750" is shown.
- Vertical Tube:** A central vertical tube labeled "熱電対 (TC-4)" (Thermocouple) has a diameter of "140".
- Bottom Left:** A dimension of "7260" is shown.
- Bottom Right:** A dimension of "1855" is shown.
- Right Side:** A dimension of "140" is shown.
- Top Right:** A dimension of "741φ" is shown.
- Bottom Right Labels:** "1/2" and "25.4°" are shown near the bottom right corner.

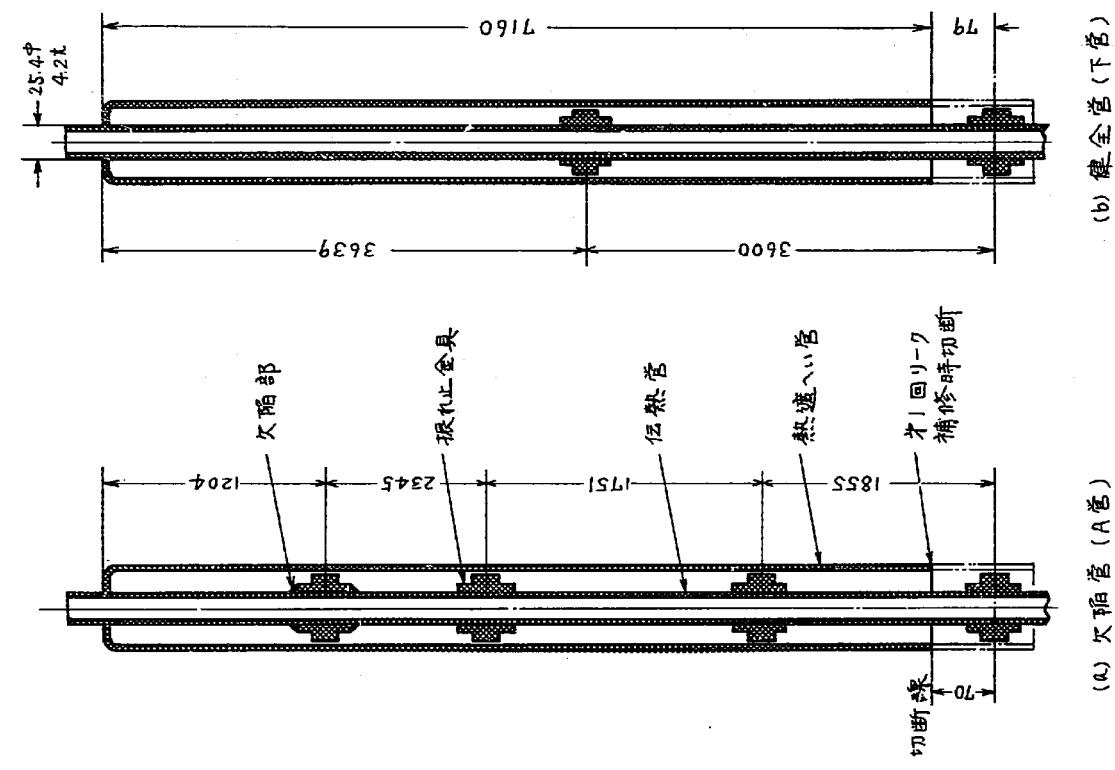
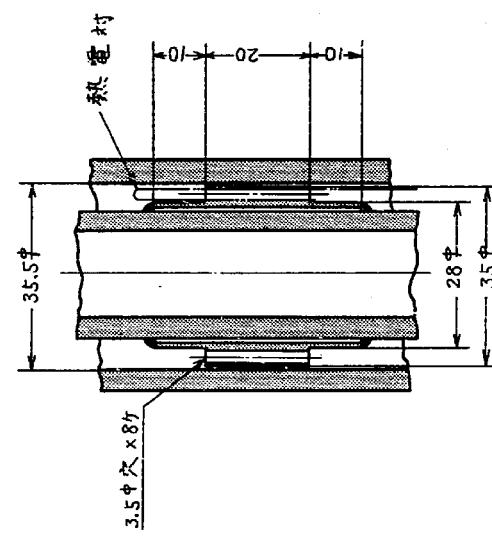
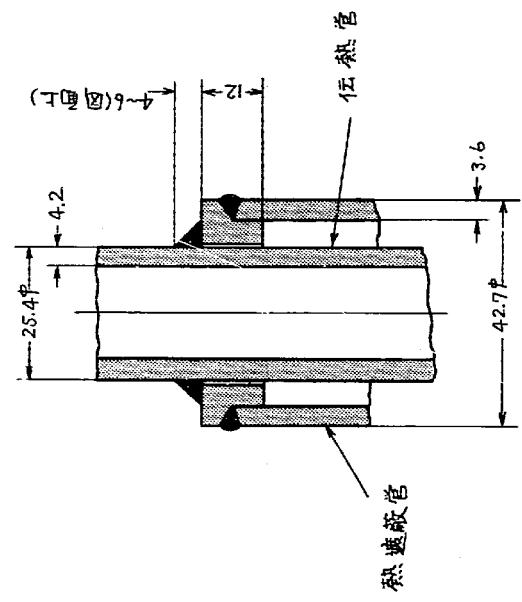
図2 ダウンカット熱遮蔽試験

図5は、SGおよびダウサンカマのレベル制御のためのガス系統図をしたものである。IMWSCI試験施設のNa系において、Na自山液面をもつているのは、SGと膨張タンクである。この2つの自由液面は両タンク間の圧差が液柱によって変わることから、流体変化試験時等には両タンク間のカバーガス系を遮断し、SG側のガス圧制御によって、レベルを一定に保つようにしている。

さらには、今回増設されたダウサンカマ熱しやへ管のNaレベルは、SGのかばーガスと、熱しやへい管内のガス圧差をとり、この差圧が常に一定になるよう給排气系が設けられている。

なお、ダウサンカム、熱しやへい管内の空閑容積は、Naレベルが最下端まで下がった状態で1本当たり約3.5ℓ程度である。2本の熱しやへい管容積で7.0程度と小ささいため、給排気用のガス流量は、5Nℓ/min位になるよう配り弁(減圧弁)を入れてある。

によって総括排気用空気供給弁を開閉して、レバーモンロールするようになっている。



(b) 健全管 (下管)

図3 热遮蔽管 及び伝熱管 支承金具の取付構造

図4 通水(A:F)管 振れ止め金具取付位置

2.1.3 膜式水素計

卷之三

図6に、N₂中の水溶濃度を測定するための隙間式水素計の系統図を示した。S₁内にて、N₂—水反応が起った場合、その反応にて発生した。水素化物はS₁出口にてループ系を廻るがS₁出口に最も近い位置より分岐され、

この Na は水素利用炉の電磁ポンプにより循環され、エコノマイザ（内管） Na 加熱器（電気ヒータ 1.2 kW うち 2 kW が制御される）と流れ、ここで 550°C に加熱される。この Na はさらにもう一度 Ni 隔離セッサ、エコノマイザ、外管、ループ管を通じて、 Ni ループ管を離れて、 Ni ループ管に戻る。

図7は、N_i隔壁センサの寸法構造を示す。拡散膜は外径1.6 mmの純N₂で、内径が0.5 mm、有効長さ2.0 mmから水素拡散透過面積は100 cm²となる。このN_i隔壁水素センサは図8に示すように縫隙きにされ、N_i隔壁端外側をN₂が上方へと流れる。N_i筒の内側は2Bステンレス配管により、図6に示されているよう直角系統へ、コンフラットフランジによって接続されている。

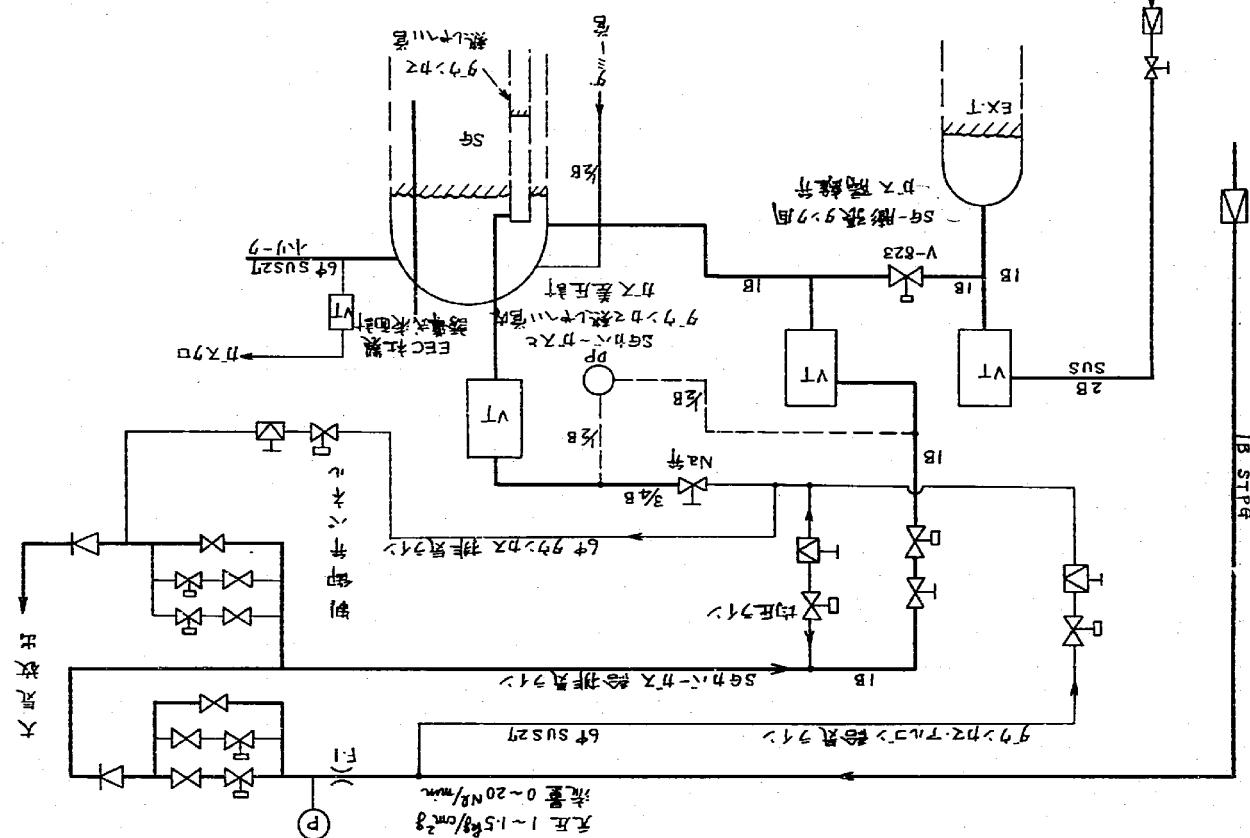
真空系は、主に起動時の荒引き用ロータリーアクチュエータ、液体蓄圧素子、液体质素トップおよび、通常運転時の拡散水素排気用のイオンポンプなどから構成されている。
さらには、拡散膜の透過水素量を水素分圧の形で測定するため質量分析計と電離質分析計が付設されている。

卷之三

隔膜式水栓計の測定原理は図9に示したように N_a 中の水栓が、ヘリの法則やフックの法則にしたがい¹⁴⁾、隔膜金属中に溶解、拡散し、成空系側にて計測される水栓分圧が N_a 中の水蒸濃度と対数比例関係にあることを利用している。

であり、真空排気系、隔壁の設計条件等を考慮した場合の一般式は

图 5 S形木体拉力器 D.C 1-11 制动用力下垂示意图



で呪わされる。

七

CD：世間の動向とその影響

卷之三

卷之三

卷之三

卷之三

卷之三

卷之三

卷之三

弘農の小糸透題(係數) 年

ప్రశ్నలు

をも、シーベルト定数Kは、 N_a 水素濃度 C_H と水素分圧 P_1 との比例定数であり、これらは実験的に確かめられ、 N_a 中の水蒸気濃度が1 ppm以上では、ほぼ

である。それ以下は直線からはずれK値は多少かれより大きくなれるようであ

また、拡散膜の水素透過係数も各種金属について実験的に確かめられている。一

隔膜の水素透過性は隔膜の温度が高いため、耐久性を考慮して、通常
へる。本装置においても純ニッケル隔膜が用いられた。

この様に隔壁の水素透過率は温度や材質によつて左右されるものであるが、これらが燃せば(4)式によつて計算することもできる。

以上の他の他に前項で述べた排気系のコンダクタンス、ポンプの排気速度を設計者（（株）三菱原子力）より与えられた、表2に示された値を用いて、Na中水素濃度と実際に計測される真空ポンプ点の水蒸分圧の関係を求めた結果は図10 の通りである。

R : ガス定数
T : 放散膜の絶対温度
も、ニッケル隔膜が温 度 5 0 °C一定の場合における水蒸透過程は¹⁷⁾

$$= 1000 \times e^{-8.724} = 1.626 \times 10^{-4} \text{ [CC(STP) mm/cm}^2\text{at m}^{-\frac{1}{2}}\text{h}]$$

$$k = 1.626 \times 10^{-3} \times 300 / 273 \times 1 / 3600 \times \sqrt{760 \times 1 / 10}$$

$$\approx 1.37 \times 10^{-4} \text{ [cm}^2\text{To-Z/sec]}$$

-12-

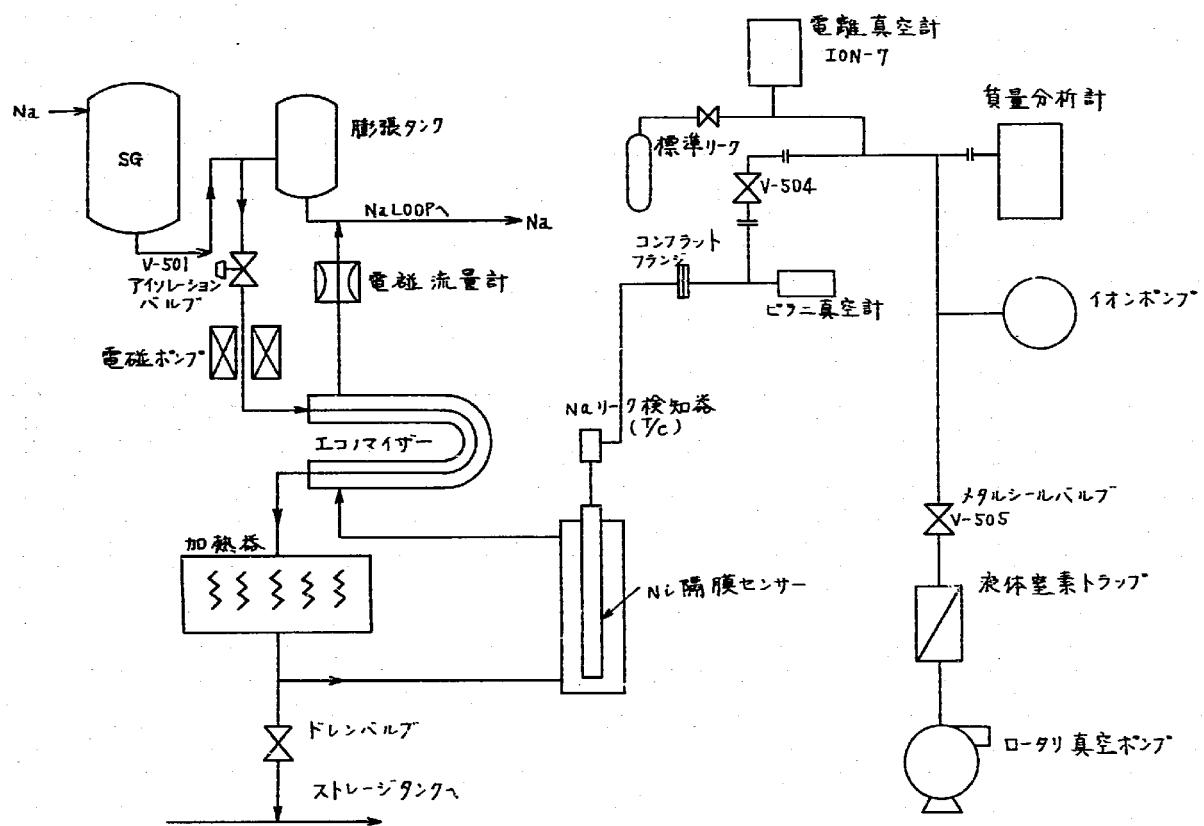


図6 隔膜式水素計フローシート

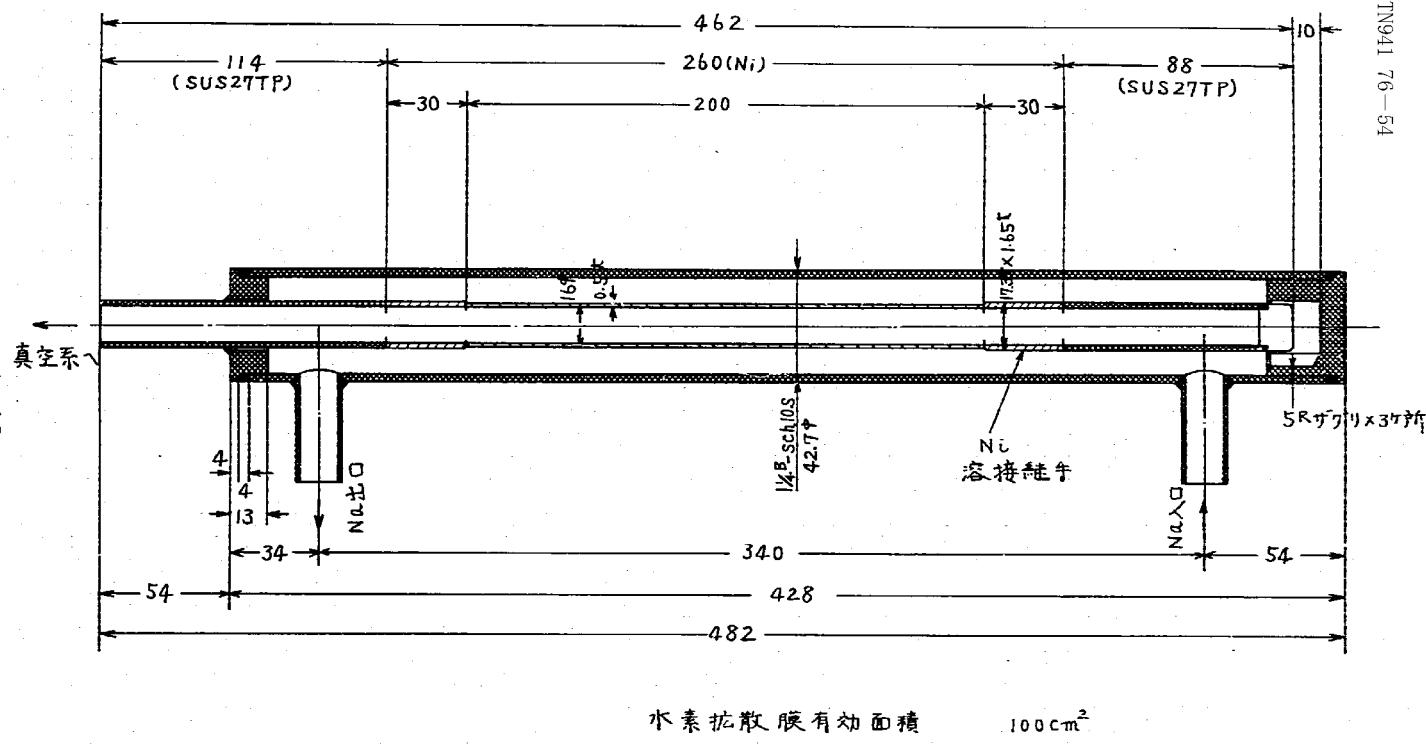


図 7 Ni 隔膜水素センサ構造寸法

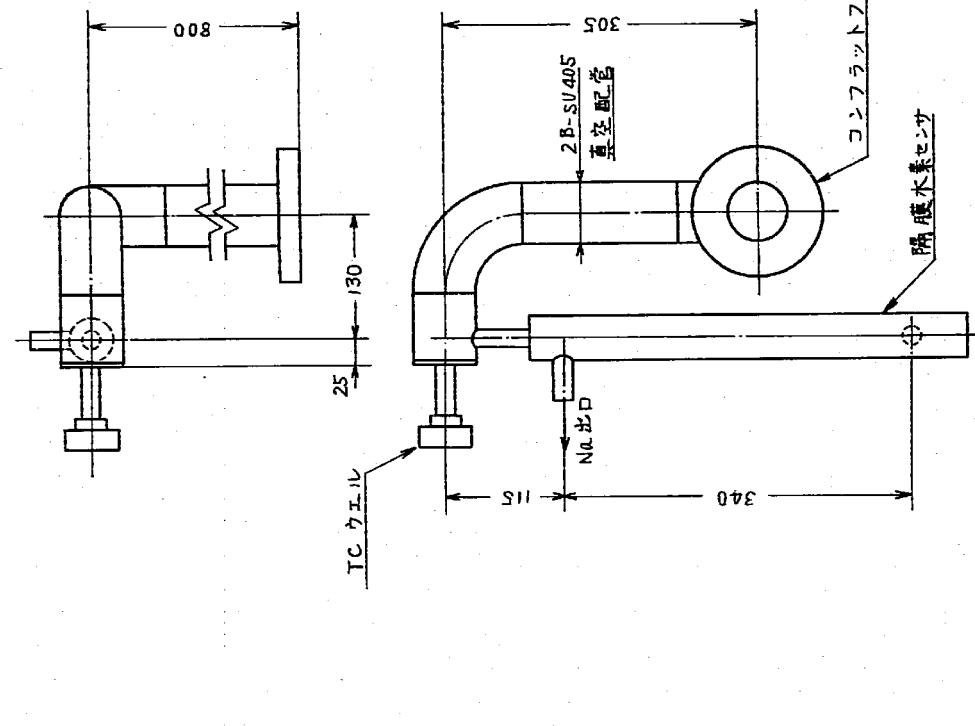


図8 隔膜水素セシサ取付要領

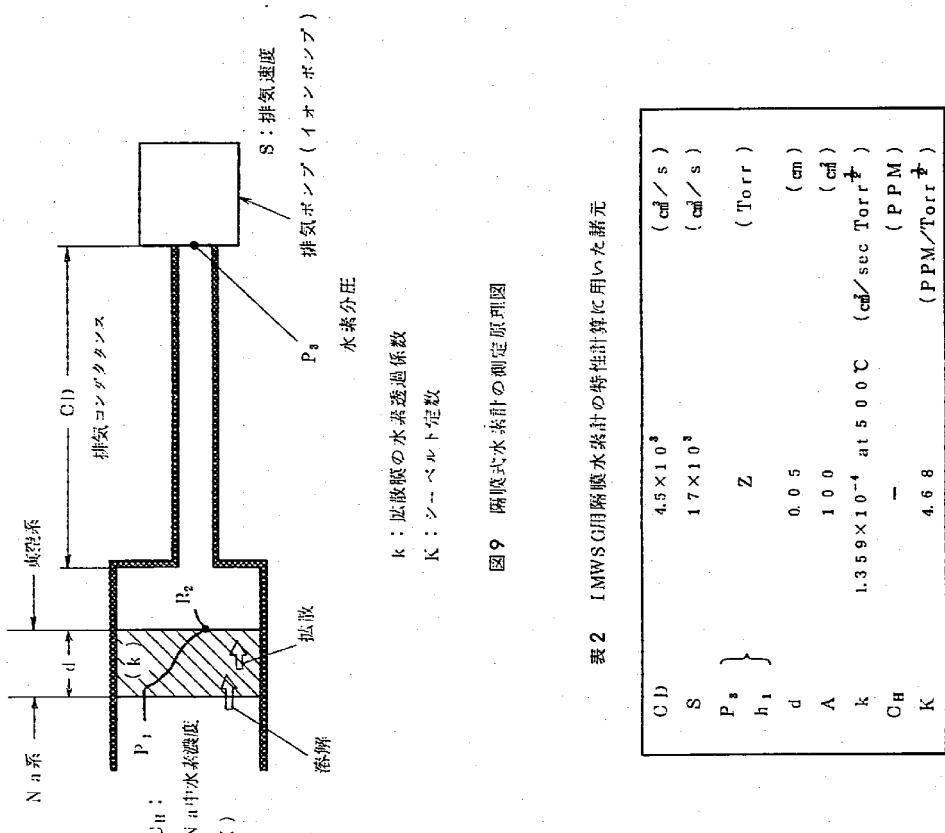


表2 I.M.W.S.C用隔膜水蒸气計の特性計算に用いた諸元

C1	4.5×10^3	(cm ³ /s)
S	1.7×10^3	(cm ³ /s)
P ₃	Z	(Torr)
h ₁	d	(cm)
A	A	(cm)
k	1.359×10^{-4} at 500°C	(cm ³ /sec Torr ^{1/2})
C _H	—	(PPM)
K	4.68	(PPM/Torr ^{1/2})

2.1.4 SG本体まわり安全系

伝熱管に水リーカが起った場合、早期に水リーカを検出するための水リーカ検出器はもとより、水およびNa系の隔離系や、圧力上昇に備えて、放出系等を設けておく必要がある。

図11は、1MWSG試験室におけるそれら安全系を示したもので、以下において詳述する。

(1) 水リーカ検出器(ガスクロ)

Na系のSG出口に取付けられている、Na中水素計については、前述したので、ここでは、カーバガス中の水素検出器について述べる。
ここで用いられているカーバガス中水素計は、ガスクロマトグラフ、(略称ガスクロ)で当然のことながらサンブルガスとしては、カーバガスであるアルゴンが流入される。

水素検知法は、サンブルガス中の水素をカラム方式により分離し、この分離ガスを図12に示したよな、ブリッジ回路で、キャリアガスである純Arガスとサンブルガス(水素含む)の熱伝導率の違いを利用して電気信号に変えて測定するものである。

なお、分析時間は、分離カラムの特性によって左右され、本検出器では、3分毎のパーセンターラフ表示となっている。このため検出感度は良いが応答性に問題が生じている。さらに、応答性を悪くする原因になっているものとして、移送運搬の問題がある。すなわちガスクロは、精密な理化学機器であるため、Naベーパのような活性化の強い物体の侵入を非常に嫌う。そこで、サンプリング系は十分なベーパ除去対策が施さなければならなくなる。

図11において点線で示されたサンプリングラインは以前の1次SGのときのもので、配管系にベーパが付着して、トラップされると配管径2Bで長さ1.2m程のスマールリーカ配管系の末端より取り出されていた。スマールリーカ配管よりガスクロまでのサンプリングチューブは内径4mmのステンレス管であり、移送遅れの原因となっていないが、径が小さいため、むしろ圧損が大きくなり、流量がとれない原因となっている。さらにSG本体よりスマールリーカ配管の末端までの容積が大きいため、サンブルガスの移送遅れが、1.5分程度あることが

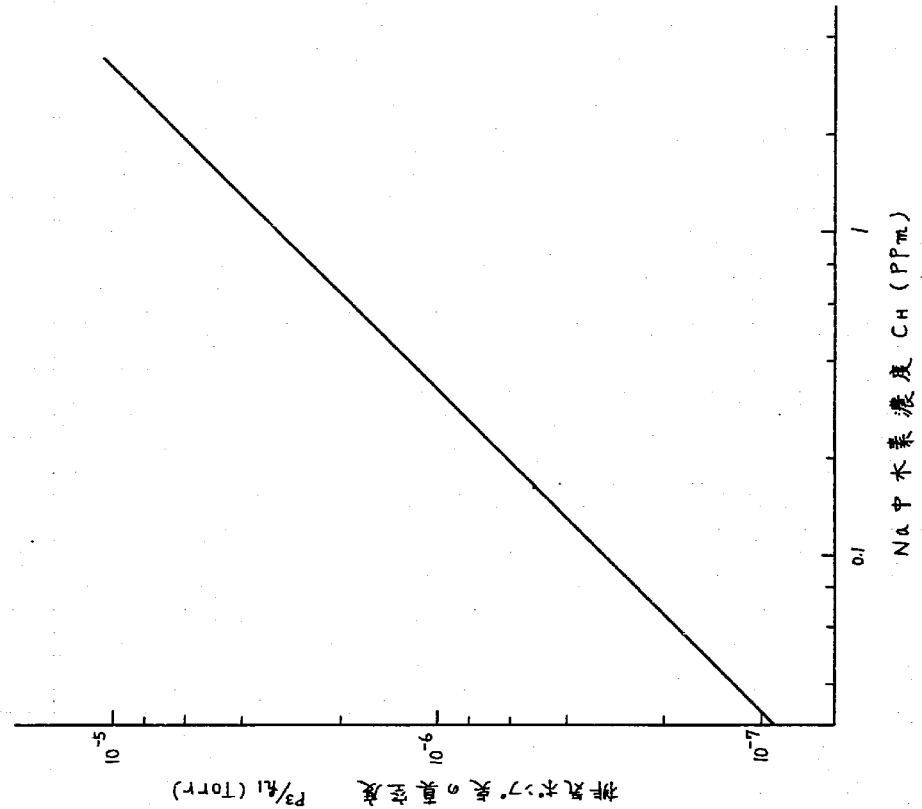


図10 Na中水素濃度と排氣系水素分圧との関係

判明した。

そこで、第2次SG復元の際、SG本体の近くにベーパトラップを巻き、これよりガスクロマトグラフのステンレス管で配管を施した。これより移送時間は、分析時間と同じ3分程度に短縮されたが、以前よりスクロの人口に設けられた焼結フィルタにベーパが付着してサンプル流量減少がなくなったよりに感じられた。時々フィルタの交換が必要になった。

(2) 隔離系(アイソレーション)

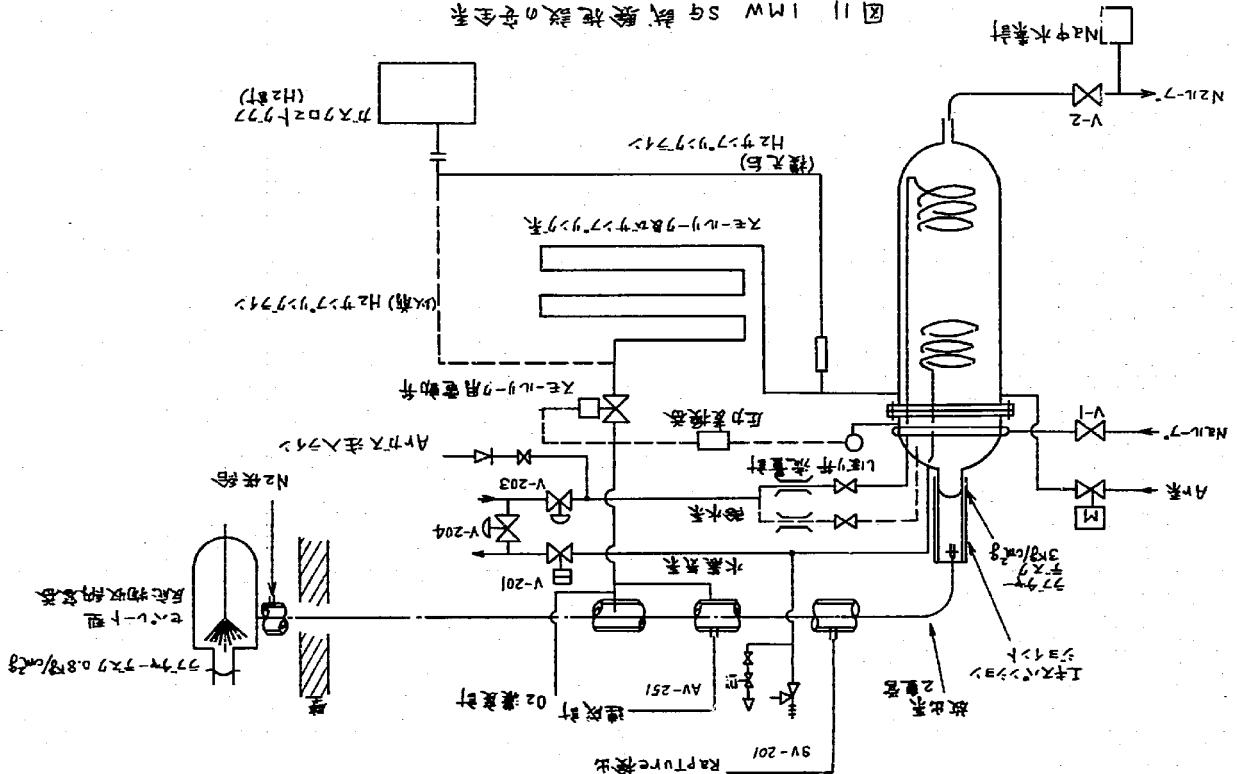
万一、伝熱管に水リーカーが生じた場合、迅速に水リーカー検出器が異状水素濃度の上昇を検知し、Naおよび水系の隔離を自動的に行なうのが理想的であるが、現状では、そこまで水リーカー検出器の信頼性が高くない。そこで1MWSQ施設においても水蒸気検出系による自動隔離は行なっておらず、運転員が2台の水蒸気計の半動刃や、アラーム温度、ガス圧の挙動、コールドドロップの流量減少等を総合して、隔離操作が行なわれる¹⁸。

しかし、今後の運転によって、水蒸気の信頼性の向上が計れる場合は、自動隔離も可能なようになっている。

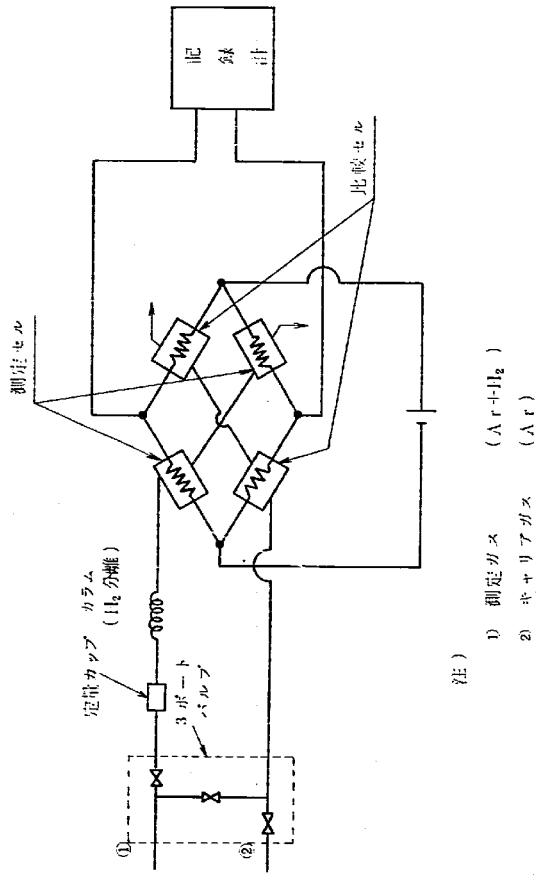
その隔離系は、図11においてNa系では、SG出入口遮断弁(AV-1,2)の閉止、水蒸気系では、給水入口弁(AV-203)閉、SGバパス弁(AV-204)が開となる。なお、本施設の運転初期には、SG出口弁(AV-201)を、給水弁と同時に開いたままのシケンスになっていたが、SG保有水のフランジによって、SG内圧の上昇が考えられたので、SG出口弁は開のままとし、ループ然氣系へ、圧力開放する形をとった。

SG伝熱管側内圧が下がった場合、リーカ箇所がNaにより、セルフブランクを起す恐れがあるので、直ちに伝熱管にアルゴンガスを加压する。この時点では、まだSGには水蒸気が残っていると考えられるため、安全弁(SV-201)の手前にある大気開放弁(AV-205)を開として、SG内の水蒸気を大気に開放する。その後、ループ系よりの水蒸気の逆流を防止するため、SG出口遮断弁(AV-201)は閉にする。

以上が、伝熱管水リーカー時の隔離系の動作と運転員が行なう必要のある操作シーケンスである。



放出室内は、常に密着状態に保たれ、かつ水蒸発が起きないよう慢熱遮断を監視している。



熱管水リーケを始め、コールドトラップおよび隔膜式水素計のNaリーケヒューリック事務がわいついた。これらの一連の事故の原因には、これまでの改造やリーケささらには補修工事といった不継続物増加の要因が、何らかの関連をもつかも知れないが、具体的にはあきらかにされてない。

しかし、以下の経過を理解するために、それら第2次SGの復元やリーグ事故の発生経過をあきらかにしておく。

表8は第2次S GIの後元点とその後の運転および伝熱管リーカ等の経過を示したものであるが、これらの過程は次の4つに分類される。

- (1) 第2次(復元)SGの建設、主な内容について前筋で明らかにした。
 - (2) 第1回伝熱管水リーフ
 - (3) 第2回伝熱管水リーフ
 - (4) 第2次(復元)SGによる試験¹⁰(所内報SN941・74-47参照)

卷三

6.6.6 のカバーガスが通常運転圧の 0.3 kg/cm² より上昇して約 1.5 kg/cm² に達したとき、圧力スイッチが動作し、エモールリータを通して電動弁が開となり、圧

本リード放出条件、 128 ± 100 の一阶衍等離散化によってからカルメル制御系があるため、小リード放出系が単独で動作することはないであろう。

Ja- α -水反応による急激な圧力上昇により、ラブチャデスクが破裂し、その高溫
の反応生成物が取納容器へと放出される。收納容器の内部構造はサイクロンセバ
ーナータ方式により反応生成物の重いものが取納容器に溜り、軽い水素ガスは上部
において、ラブチャデスクより、大気へ放出される。この放出口には、点火用ヒータがつ
いており、ラブチャデスク破断と同時に水素に着火するようになっている。これら

このため 1 MW の第 2 次 SG でもこの方法が採用された。

おり、ラブチャーチでスクリプト破壊と同時に水素に着火するようになっている。これら

122

表3 第2次SGの復元と各種リーケ事故の発生経過

昭和47年4月 5月 8月 11月 12月25日	第1次SG性能試験終了 〃解体 第2次(復元) SG製作開始 第2次SG現地搬付開始 〃搬付完了
昭和48年1月18日 2月5日 3月27日 ☆4月11日 ☆3月24日 9月30日	第2次SG施設における運転開始 Naループ系のみの運転 隔膜式水蒸気計引取試験 SGを含めたNa純化運転 (SG→Na切替チャージ) コールドトラップにNaリーケ 第1回目安熱管水リーケ (ダウサンカマ部よりカバーガス中へ) 隔膜式水蒸気計Naリーケ (NaによるSG純化運転中) SG復旧工事完了
☆1月19日 昭和49年2月20日 昭和50年6月13日	第2回目安熱管水リーケ (ダウサンカマ熱遮蔽部内Na中へ) SG復旧工事完了 第2次SG性能試験終了 Na投資時間 約1万時間 450℃以上にて6300時間

(☆ 各種リーケがあった事を示す)

2.2.1 第1回リーケに至るまでの経過
すでに述べたとおり、第2次SGは昭和48年1月より運転が開始された。最初のうちは、今回増設した隔膜式水蒸気計の引取試験が行われた。この試験は、Naループ系のみについて行なわれたもので、これと並行してSG側ではSGのベーキングが行なわれた。

2月5日に第2次SGとして、初めてSGにNaがチャージされ、図13の如く、Na-a水蒸気の同時運転がなされた。1次SGでもそうであったように、SGによるNaの汚染があり、Na温度320~350°Cで、この純化が進められた。しながらこのNa汚染はSGのベーキング効果があつたせいか、1次SGに比べて少なかつようである。それでもフランクシング温度にして250°Cまでの不純物の增加がみられた。このため、1次SG運転当時より使用されてきたコールドトラップ

は閉塞ぎみになり、3月初旬には、新しい予備品と交換された。
このコールドトラップ交換後、Na系とは何等関係のない水系に水質悪化の現象が見られ、SGに通水できない状態になった。

この水系浄化のため約3周間ほどフランクシングと原因究明に費やされたが、その結果は、水のPH計故障により、低いPH値(8.5)で運転されたことによる供給の停止が原因であることが解った。

新しいコールドトラップによるNa純化運転が再開されまもなく、コールドトラップの本体側の架台取付脚部近傍からNaリーケがあった。このコールドトラップは直ちに撤去され、予備品(リーケ品と同一構成)の胴体肉厚を3mmから6mmに改造するなどして、ループに取付け、再度純化運転に入ることになった。

4月3日には、SGにNaと水とともに入れられ、直ちに水槽相流およびNa純化試験が始まった。

図14は水槽相流試験開始後から、伝熱管に水リーケが起るまでのNaと水蒸気系の主な運転経過を示したものである。

2.2.2 第2回リーケに至るまでの経過

第1回リーケによる後遺症は、次第以下に述べているように、SGの補修工事をはじめ、Naの純化運転、SGのNaによる洗浄運転など、約5.5ヶ月を費し、9月30日にSG復旧工事が完了となつた。

ここではその後の経過について述べた。

SG復旧完了後は主にSGの補修工事で汚れた、Naの純化運転を行なっており、10月9日には、ブラク温度が161°Cまで低下してきた。しかし、この頃よりコールドトラップの流量がそれなり、10月18日~10月22日かけて、コールドトラップの交換工事が行なわれた。

10月27日より新しいコールドトラップによりNa純化運転を再開しようとしたが、コールドトラップの流量が全然とれなかった。いろいろ原因を究明した結果、コールドトラップの出口配管とドレン配管の閉塞であることが判った。これは、それらの配管系温度がコールドトラップの底部温度(制御温度)に近いため、コールドトラップが閉塞した際、故意に底部温度を上げて流掛回復を計るなどしているときにはきかれた、不純物の沈積によるものと思われた。

- 26 -

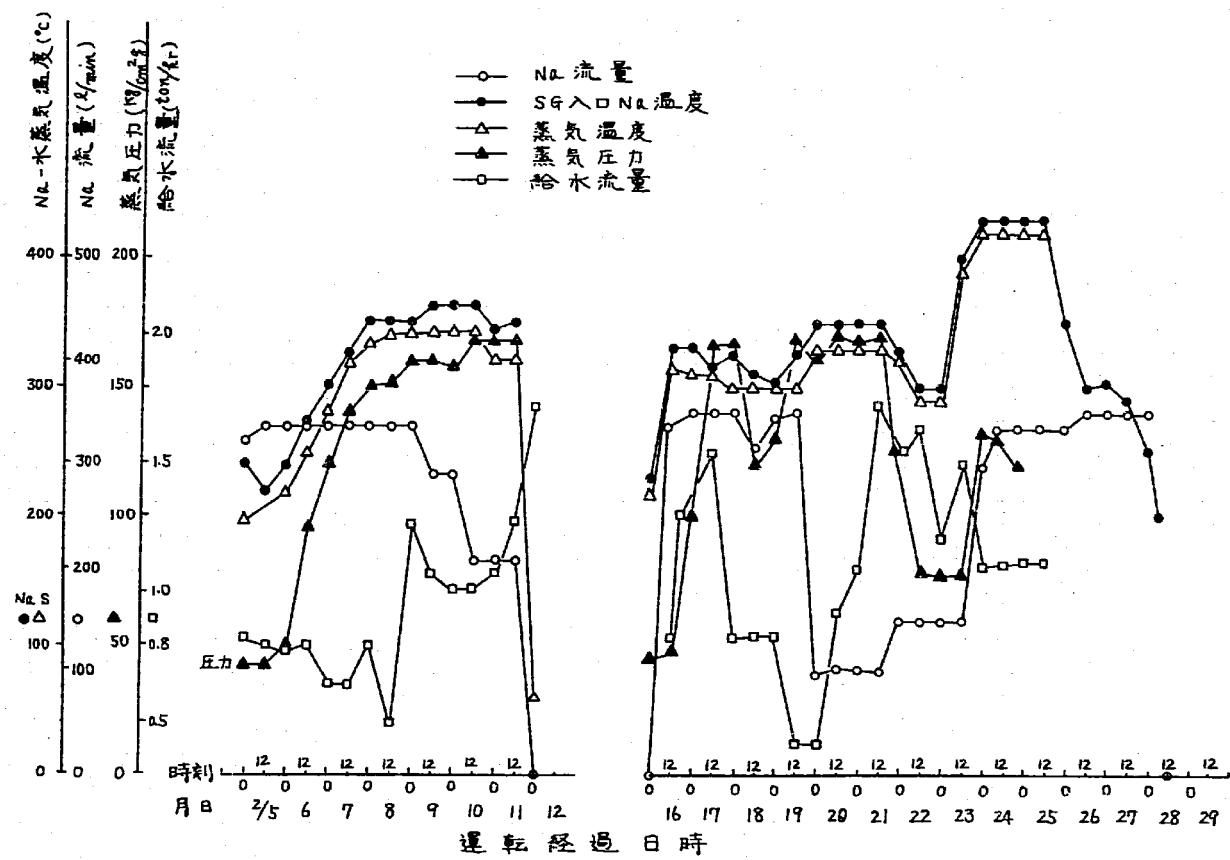
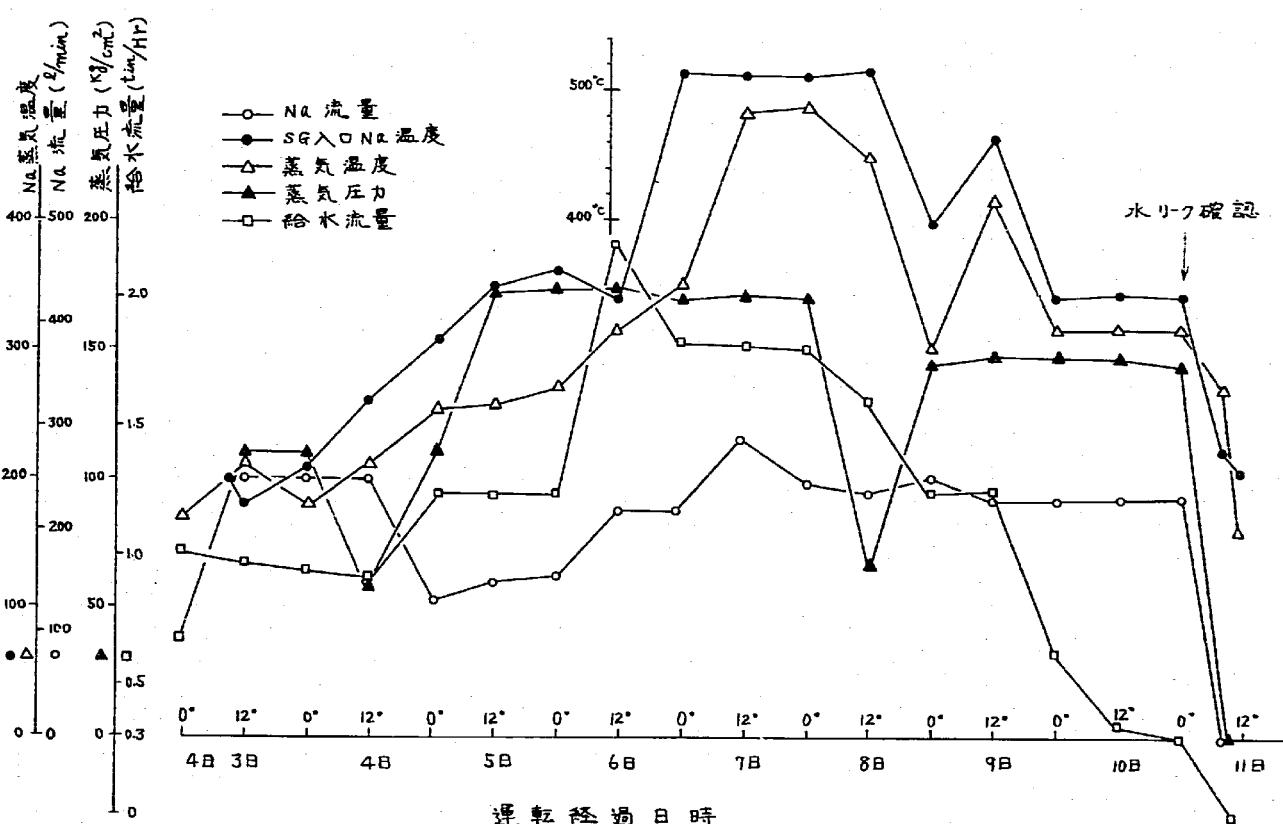


図 13 第2次 SGにおける初期運転経過

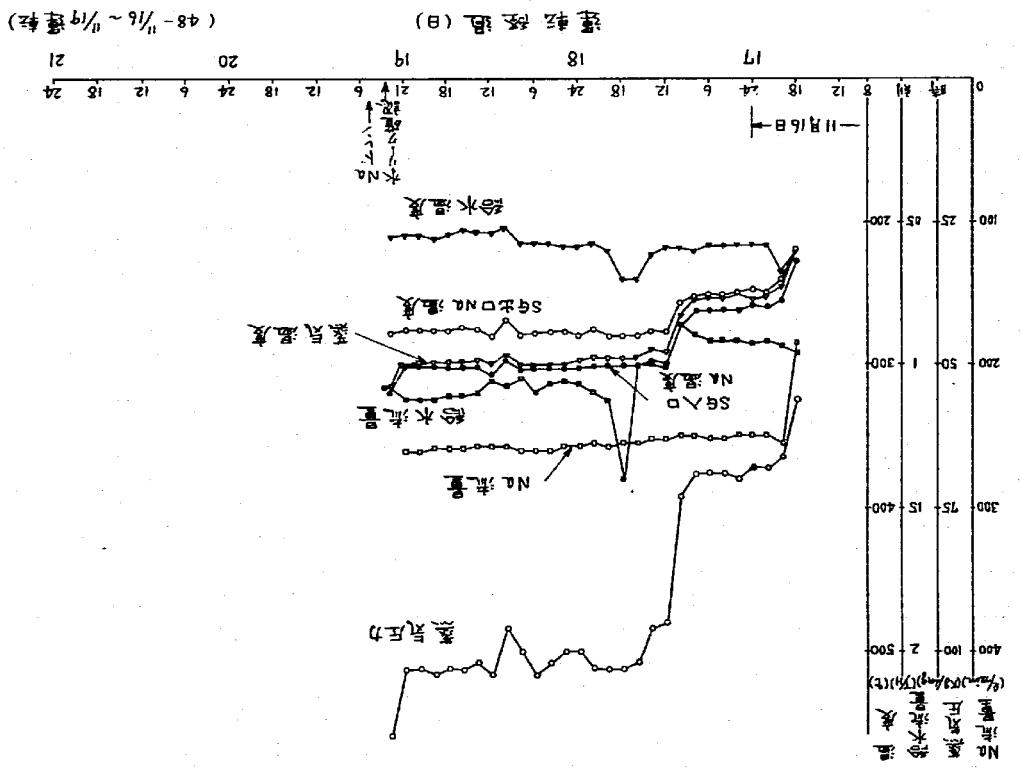
- 27 -

図 14 第1回伝熱管水リーキに至るまでの
Na-水蒸気系の主な運転状況

閉塞部にて、ヒーターおよび保溫を強化して導通がみられるようになつた。この間水系は 9 月 30 日に S/G 通水以来（約 60 秒流軸）運転運転されており、10 月 16 日～10 月 18 日にかけて、水岸相流試験を行ない、その後、コールドトラップ交換のため停止された。10 月 25 日には、CT 交換後再び水系運転が開始された。しかし、Na 系が本格的に昇温が開始されたのは、コールドトラップの閉塞問題が解決された 11 月 16 日からである。

図 15 は、SG が本格的に Na-a 水回路運転が開始された後、水リークに至るまでの Na-a 水系における正な運転条件の経過を示した。

図 15 第 2 回水-a リークの運転経過



3. 第1回伝熱管リーカ

昭和48年4月1日にIMW復元SGに水リーカが発生した。今回のこの伝熱管リーカは我々の初めての経験であり、各種水蒸気検出器に現われた現象や、その後の処置など今後の参考になると思われるところが多くあった。また、リーカ箇所の確認法や、補修法などを今後検討しなければならない点も多くあり、さらに、Na-水反応によって生じた不純物の純化や補修によって生じた溶解NaのNa₂による洗浄なども経験した。

以下、それら第1回の水リーカ検出から補修作業完了に至るまでの経験を述べた。

3.1 リーカ現象と処置

本施設には水リーカ検出用としてカバーガス中にガスクロが、Na中に隔膜式水素計および、アラーミング計がそれぞれ付設されている。これら水素計は水リーカが起り始めたと思われる時刻より、指示値が異常に上昇している。

この各種計器の異常上昇を結合判断して、水リーカと断定し、その後の処置すなわち、運転停止操作を行なっている。

3.1.1 リーカ現象

まず、リーカが起ったと思われる前後の運転状況をあきらかにしておく。

図16は、第1回の伝熱管リーカの起ったときのNaおよび水蒸気系の主な運転状況を示したものである。この運転では、水单相流における伝熱特性データを得るため、給水流量の変化試験が行なわれ、リーカ量が急激に増加したとみられる1時頃には、蒸気圧力が15.0K→15.6Kに、Na温度が320°から350°に、

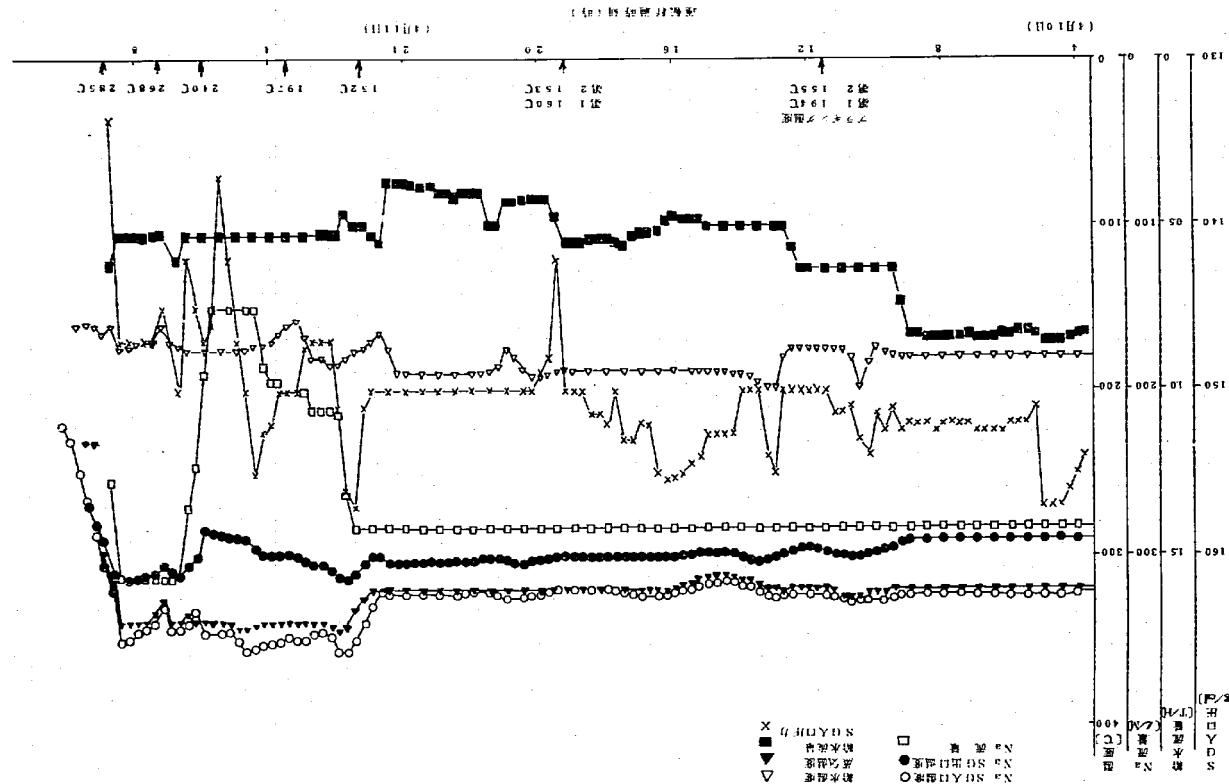
給水流量が0.41/Hから0.541/Hにそれぞれ変えられている。

水リーカ現象を最も早く指示したガスクロは、次の理由により、リーカ開始点を明確にすることはできなかった。それは、4月3日のコールドドリップ交換後の

Na系運転において、ガスクロは500ppmレンジで運転されており、特に指示が高くなつたといふことでもなかつた。しかし、特異現象として指示の戻りのとき、

(一) 側にヒゲが出る現象があつた。このときは特に気にも止めなかつたが、4月7日にかけて水蒸気濃度指示が、だんだん低下し4月8日にあって、指示が(+)側に振れなくなつてしまつた。そこで、ガスクロの感度を500ppmレンジにおいて、標準ガス22.6ppmにより感度較正を行なつたところ、150ppmしか指示し

図16 第1回の水リーカ検出時のNaおよび水蒸気系の主要運転状況



なかつた。この出力低下の原因を調査した結果は、プログラマのオートゼロ用がデシショメータとバランスシングモータのカッピング止めネジが弛んでおり、バランスシングモーターが空廻りしていた事が判明した。

これらの調整と標準ガスによる感度校正は4月9日に行なわれた。

図17は、その後のプラントガス(SGカバーガス)の水素濃度を測定したもので、4000 ppmレンジを用いてオーバーしている。この時点ではリーカーの漏いもあつたが、Na中の隔膜式水素計やラギング計に特に変った様子もなく、かつ、その後のガスクロ指示もだんだん低下したので、リーカーではないであらうと判断された。

しかし、4月10日に入ってから、再び指示の上昇がみられた。そこで、再度標準ガスによる感度校正を行なつたが異常はなかつた。それゆえ、4月9日時点で、すでに伝熱管にリーカーの徵候があつたとも考えられる。その後、運転条件の変動などにより、リーカー部のクラックが拡大されいたものとも推測される。

図18は、隔膜式水素計の挙動をイオンポンプの水素分圧として示したもので、4月11日の1時以前の水素分圧は、 1×10^{-6} Torr(図10よりNa中水素濃度で約0.3 ppm正確な値については後章参照)で、それ以後急激に上昇している。

4時以後で、水素分圧がほぼフラットになつてゐるのは、水素化物の増大によりニッケル隔膜を破損させないための配慮より、ニッケル隔膜の温度を下げているためである。隔膜温度を50°Cに換算したときの値は、点線で示した通りである。

なお、前述のように、イオンポンプによる水素分圧の指示は、リーカーと断定できるような傾向を示しているが、本装置はもともと質量分析器により水素分圧を測定するのが正となつてゐた。しかし質量分析器はイオン源となるフライメントに耐久性がないなど問題が多く、このときも、イオンポンプによる真空測定しかされてない。この様なことから今回の水素分圧の上昇は、その時点において、リーカーの決定的決め手にはならなかつた。

図19は、主循環のSG入口Na温度、流量およびコールドトラップ通りの温度、流量などの運転状況を示したものである。コールドトラップ流量は自動制御ではなくておらず、主循環流量を変化させることにより、コールドトラップ流量も変わってしまう。そのため4月11日の1時半頃主循環流量を280 L/mmより約120 L/mmまで下げた際は、コールドトラップ流量も3 L/mmまで下がつた。そこで、

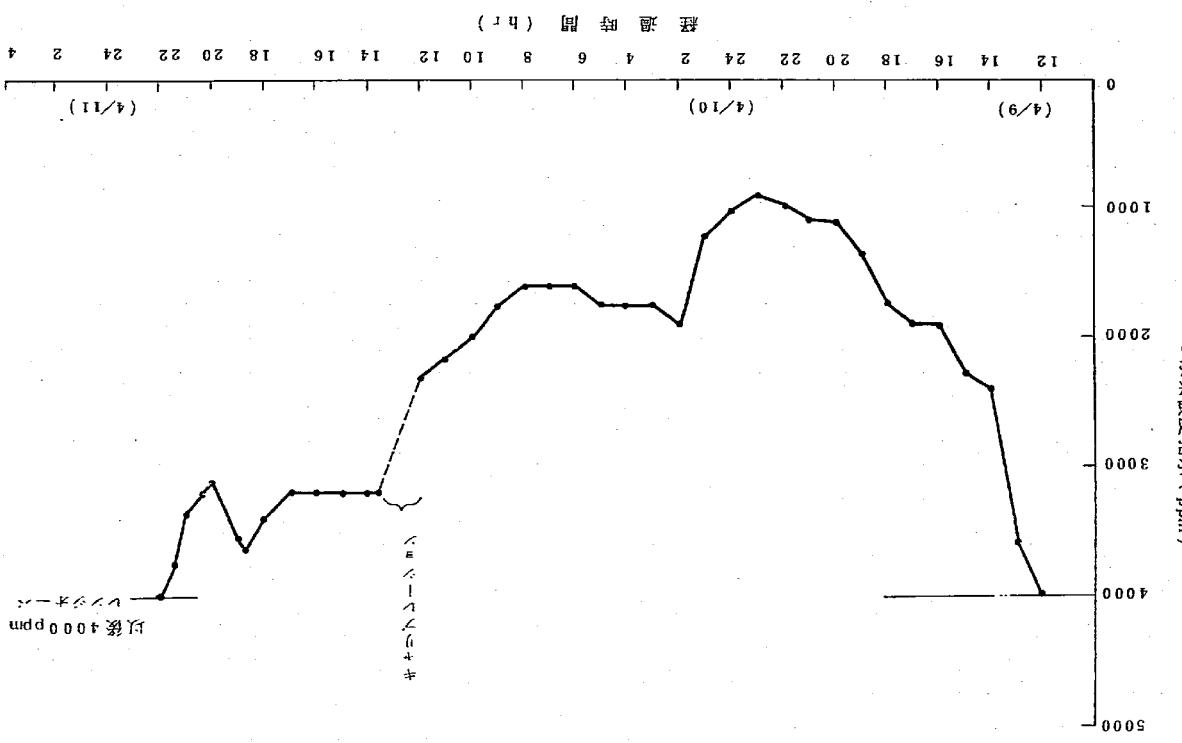


図17 SGガス-> 空気中の水素濃度の変化(第1回 ガス-> 空気中の)

(4/9) (4/10) (4/11)

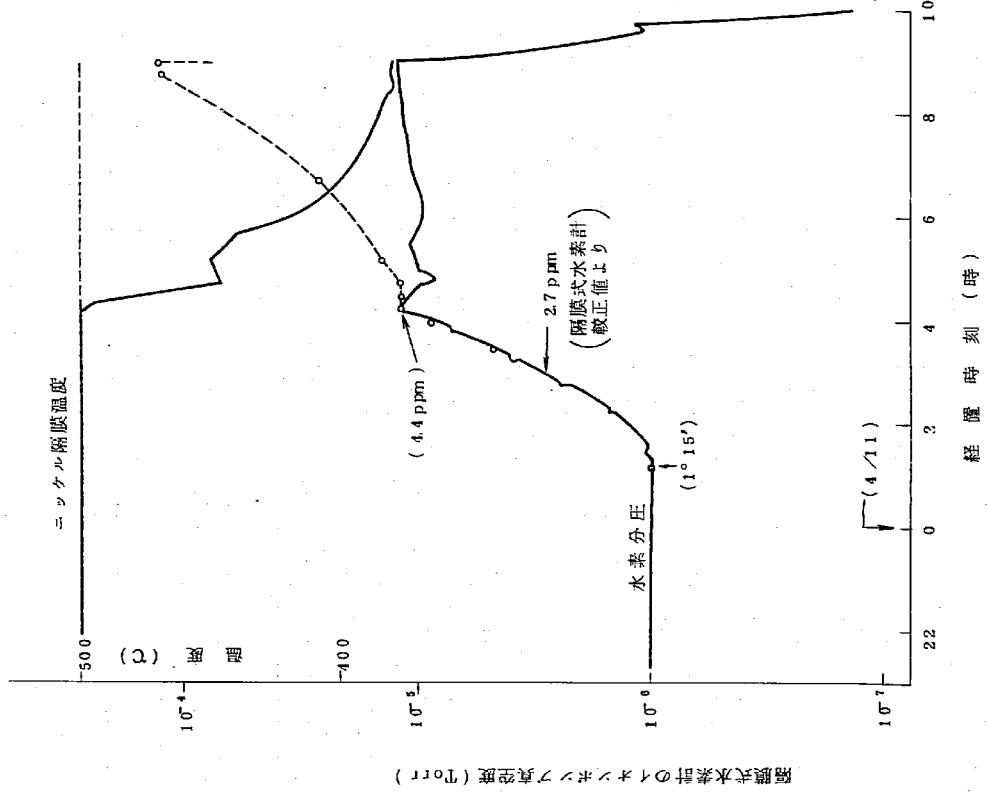


図18 隔膜式水蒸計の挙動

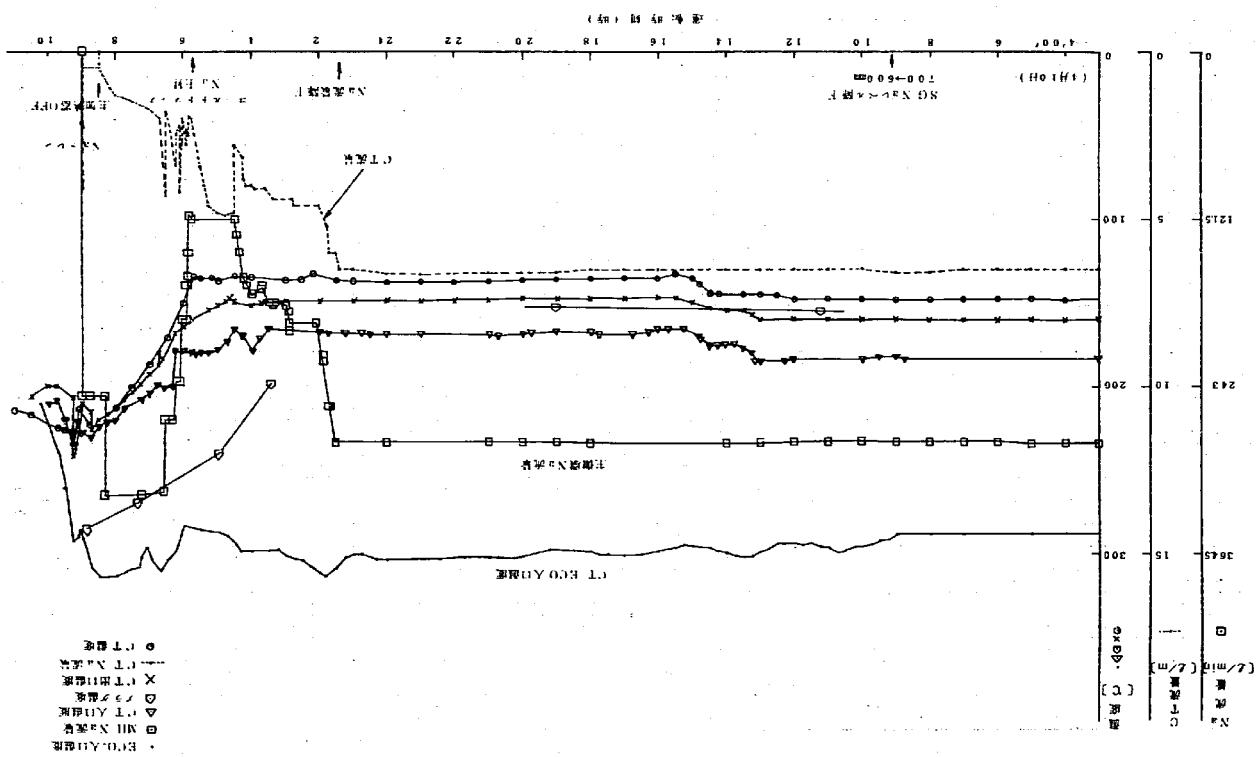


図19 第1回(1)～(4)時までの実験結果の測定状況

5.2mmまで増やそうと、コールドトランプ系の弁操作を行なっている。しかし、5時以降は何ら操作なしでコールドトランプ流量はどんどん低下している。そこで、運転員がコールドトランプを閉塞させてはまずいと考へ、コールドトランプの設定温度を上げ始めている。また主循環流量もどんどん上げているが、コールドトランプ流量は、時々回復するかのようにみえたが、低下の一途をたどった。このような状態から考へても、コールドトランプにはNa一水反応による多量の不純物が持ち込まれたことがうかがえる。

図20は、上述の結果を総合的にみて水リーカーと断定された前後ににおけるブランク計の測定結果で、時間経過とともに、ブランク温度は上昇している。なお、本ブランク計は自動連続式であるが、このNa系ではSQにクロモリ材を使っている関係からか、ブランク点によく二重ブレーク現象が生じ、連続指示記録を困難にしている。そこで、通常はほとんど、図20に示したような手動測定法がとられている。

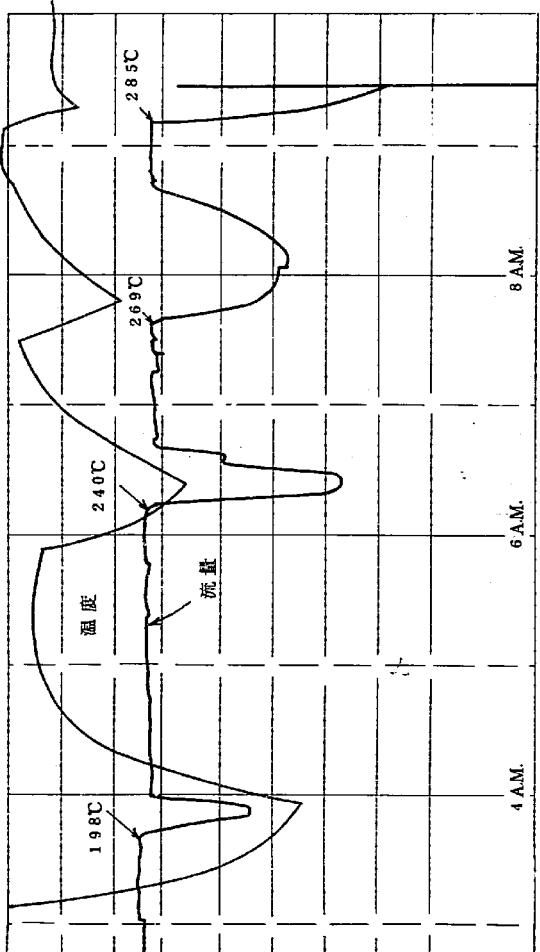


図20 ブランク計の測定結果

*た。最近ブランク点についても、アンブレーキや平均法など、その取り方に工夫がなされているようであるが¹⁹、ここではあくまでも流量減少を起す第1ブレークボイントを第1ブランク温度、第2の点を第2ブランク温度としている。いずれにしてもブランク温度は、Na中水素計の水素分圧が増え始めてから、やはり上昇を示していることがわかる。

さらに、伝熱管に水リーカーが起っているのであれば、Na一水反応によって発する水素ガスによって、カバーガスが上昇するはずであるが、これに関しては、

図5のSQレベル側制御弁を自動運転させていたため、圧力上昇分は大気放出弁により逃がされていて、検知されなかつたようである。

3.1.2 处置(停止操作)

今回の伝熱管リーカーは初めての経験であったが、幸いリーカーでしかもカバーガスらしいとの判断から、リーカーと断定してからの停止操作もあまり急を要しなかった。そこで、停止操作は緊急系の動作確認も含めて行なわれた。

操作の主な内容は以下の通りである。

4月11日

8:30' 「リーカーと断定」

Na温度を350°Cより主加熱器の電源を断として、降温を始める。ブランク温度の測定を行ない285°Cを得た。

全記録計チャートの時刻合せ

8:56' 「アイソレーション」

緊急操作スイッチ「アイソレーション」により、次の動作を行なった。

SG 出入口Na遮断弁 (AV-1, 2) 閉
SG 入口給水遮断弁 (AV-203) 閉
SG 給水バイパス弁 (AV-204) 開
9:00' 「SG緊急ドレン」

Naのドレンはまず「SG緊急ドレン」スイッチによりSGのみのドレンを行なった。

SG Na液位(l)が600から0mm(90°2)になったことを確認。

SG ブランク式レベル計LEI-3, 4, 5は、反応生成物の付着によると思われる

内部接觸により Na がドレンされているにもかかわらず、点灯状態であることが確認された。

9° : 04' 「ループ緊急ドレン」
「ループ緊急ドレン」スイッチの操作によりループ側の Na が問題なくドレンされた。

9° : 11' 「伝熱管へ留着（アルゴン）封入操作」

SQ 内の蒸気圧力が 5 kg/cm² 程度になったところで、SQ 出口蒸気弁（AV-201）を閉じ、元圧 1.6 kg/cm² の留着ガスを封入。また SG 内の温分をできるだけ除去すべく、蒸気プローライノンより蒸氣プローラーした。なお途中で器具（緊化物の問題をさけるため）より、アルゴンガスに切替られた。

9° : 34' アルゴンガス封入完了

9° : 53' アルゴンガス再封入 元圧 1.8 kg/cm²

1° : 27' Na 系のドレン確認 各ドレンラインをガス導通により確認された。
以上のようすに緊急操作系はすべて正常に動作することが確認された。また伝熱管にはリーフ個所がセルブロックしないよう常に 1.0 kg/cm² 以上のアルゴンガス圧がかかっているよう十分注意が払われた。

3.2 リーク確認試験

まず、最も簡単に実施可能なものとして

(1) シェル側真空、伝熱管へガス加圧として、シェル側の真空度確認と伝熱管側の圧力降下を測定（加圧ガスとしてアルゴンを用いる）。

(2) (1)と同様な方法であるが、伝熱管にヘリウムガスを加圧し、シェル側でヘリウムの放出を併用する。

(3) シェル側ヘリウム加圧して、伝熱管側でそのヘリウムを検出する。

この場合の問題点として Na 側からの加圧のため Na が欠陥部に侵入してセルブローダを起す心配であった。

次に多少測定技術を要する方法としては

- (4) シェル側ガス加圧、伝熱管側水張り、ガスが水中に噴出する際の発泡音を音響検出する。既絶欠陥の場合発泡音が、非常に小さいと检测され難いが困難、さらには(5)と同様の問題もある。

また技術的に多少困難が予想されるものとして

- (5) SG シェルに Na チャージし、伝熱管側にアルゴン加圧、シェル側で発泡音の検出と発泡により、Na 濃度の変動を監視する。
以上のようすにいろいろな方法が考えられたが、ここでは最も簡単な方法である(1)について実施することにした。

実施に当っては、まず第 1 段階として、伝熱管など切断なしの現状で行なつてみる。次に第 2 段階として、解体前に 2 本の伝熱管のどちらにリーフがあるかを調べる。最終的な確認としては、次節で述べるより解体して検査することとした。

(a) リーク検査

(i) 真空法
シェル容積約 3 m³ を約 1 Torr 位の真空中に引き、この状態で 2 本の通水管（A、B 伝熱管、それぞれの容積 1.0 L）にアルゴンガスを 3.0 kg/cm² 加圧した場合としない場合（大気圧）について、シェルの真空度劣化を比較した。

その結果は頭者ではないが差はみられた。予想に反してアルゴン加圧の有無で差が小さかった理由は、後になつて判つたことであるが、空気ガスを基准に目盛られたピラニ真空計がアルゴンガスに対して、感度がよくないことがあった。逆に次の試験で大きなように、ヘリウムガスに対しては感度が大きくなっている。

なお、これまでの試験は伝熱管のセルブローダが起こらないようにするため、200 °C の予熱状態で行なわれた。しかし、伝熱管にアルゴンを加圧状態で降温すれば、Na が固まつても、セルブローダは起らぬのではないかということで次の加圧試験は常温にて行なわれた。

(ii) 真空一加圧

前述の第 1 段階試験で 2 本の伝熱管のいずれかに欠陥ありと判断されたので、第 2 段階として 2 本の伝熱管を分離して A、B 管別々にヘリウムガスを加圧して試験することとした。

この試験は、P 管、A 管の順に行なわれ、1.20 ~ 1.25 kg/cm² のヘリウム

ム加圧で、その後の圧力降下をみた。同時にシェル側の真空度劣化と、ヘリウムデテクタによるヘリウム検出をこころみた。

B管については明らかに変化がみられたが、A管については図2-1に示したように、圧力降下、およびシェル真空度ともに顯著な変化がみられた。ただし、ヘリウムデテクタによるシェル内へのヘリウム検出はできなかつた。これも後になってわかったことであるが、検出プローブが加圧式であつたため、シェル内にアルゴンガスを注入した段階では測定できなかつた。

なお、前述したように、ビラニ真空計は通常、窒素ガスを基準に目盛られているため、ヘリウムガスのように強素ガスより熱伝導率のよいものでは測定精度がよくなっている。そこで、図2-2に、その実測データと感度補正した値とともに示した。また、伝熱管側の圧力降下より推定した、シェル真空度を△印で示した。実線で示された感度補正後の実測データと圧力降下より求めた真空度は、ほぼ一致している。

3.3 解体検査

リーグ現象やリーク確認試験によって、2本の通水管のうち、A管のかバーガス漏部で伝熱管リークがあつたことが判明した。

しかし、給水管側、蒸気管側かはあきらかでない。そこで、リーク原因究明や補修対策などを合せて検討するため、解体検査されることになった。

解体は目視検査と簡単な補修が可能なよう、ビニールカバー法による常温アルゴン界隈気中で行なわれることになった。

補修対策は、この解体検査の結果を待って立てられることになった。

3.3.1 解体検査上の問題検討

リーク箇所は予想として、カバーガス漏部らしいことがわかつたが、ダウンカーメ側か、ヘリカルコイル側かの判定はつかなかつた。このため最悪（ヘリカル側）の場合には分離ショックドを切断するという大工事になることも考えられた。しかし、いずれにしても管束を引抜き、目視検査することが先決であると考えられた。

管束引抜きまでの解体手順は第1次SG解体洗浄手順⁷⁾とはほぼ同様な事が考えら

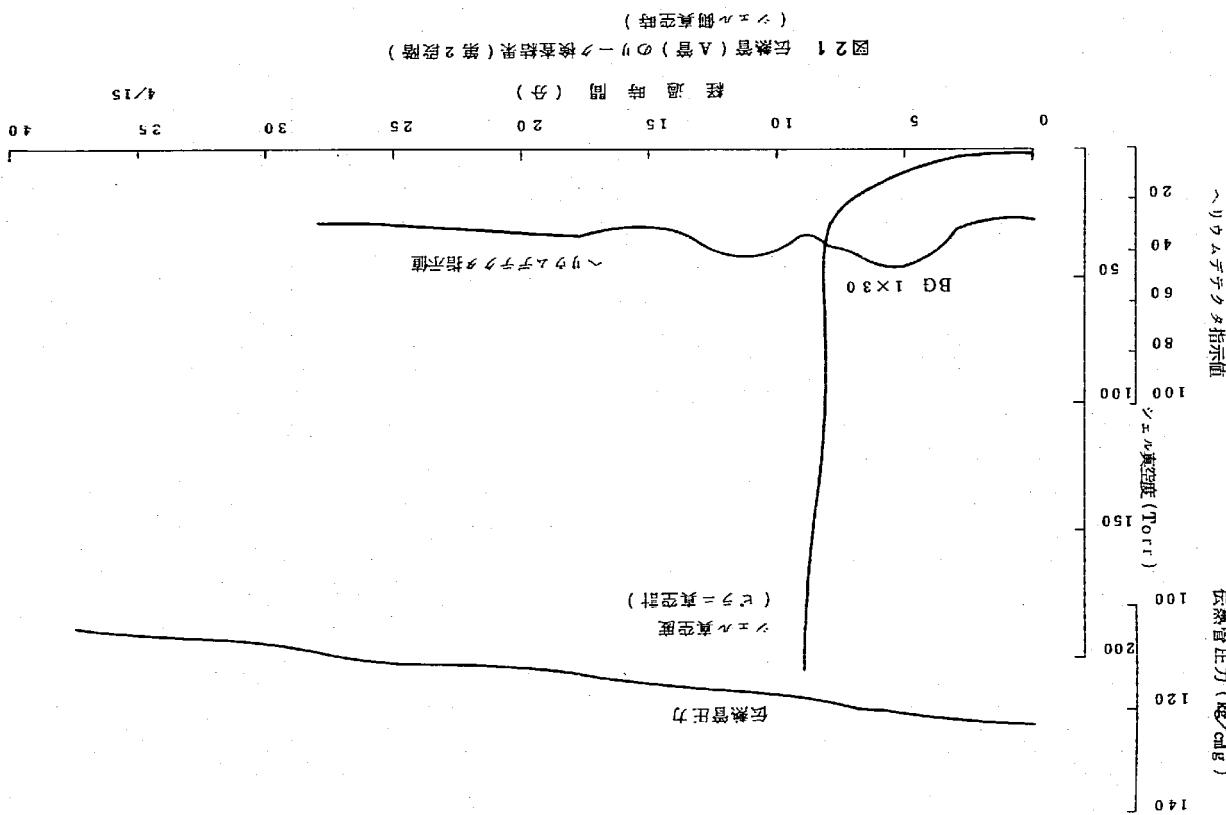


図2-1 伝熱管(A管)の漏れ検査結果(第2段階)

参考書籍 46) 第2章 漏れ検査

ZN941 76-54

れただが、特に異なる点としては、リーグ個所のセルフブランク防止ヒダーソンカーボルで
のリーグであれば、SG室内の補修も可能であることにから、すべての作業を不
活性ガス中で行なう必要があることであった。またSG内部はNa一水反応生成物
により、第1次SG解体時よりNa汚染および付着が多く、発火の恐れもあると予
想された。

以上を考慮して、管束引抜き工事は耐熱性の透明ビニール筒を用い気密性を十分
にして、アルゴンガス雰囲気にて行なうこととした。

透明ビニール覆いを用いた場合の利点は透視検査が可能などと不活性雰囲気を
保ちながらの作業性が比較的よいことであった。

ただし、コイル部のリーグの場合、専別の補修法も考えなければならないであろう
うが、いずれにしてもコイル部を露出（分離シェラウドを切断）してからNa洗浄
することにならうし、またリーグ個所如何によつては、構造変更の必要があるかも
知れないことであった。

3.3.2 解体手順
解体の主な手順は、次の通りであった。ただし、リーグ伝然管には常にアルゴ
ンガスを $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上加圧しておかれた。

(1) 配管切断と盲栓接
SG本体に接続されているすべての配管を切断し盲栓接された。当然のこととな
がら、Na系配管切断の際には配管系へ空気の逆流や切削の侵入がないよう注
意された。水系配管の切断の場合でも切削については注意が払われた。

(2) SGをビット内に挿入
万一、管束引抜きが常温にて行えない場合を考え、予熱ヒータは配線施工お
よび保溫された現状維持にて、ビットに挿入された。

(3) フランジリップ溶接部の切断
管束部はセルフヨリ1体として引抜ける構造となつており、これらフランジ部
シールには、中空Oリングヒップ溶接のダブルシールを施している。このリ
ップ部の切断は刃先の長いスキルタッピングが使用された。

(4) 押しボルトによる管束のかさ上げ
押しボルトにより管束が簡単に浮かすことができたので、写真1にみられるよ
うに鏡上部よりビニール筒をかぶせ、フランジ上部に固着密封した。

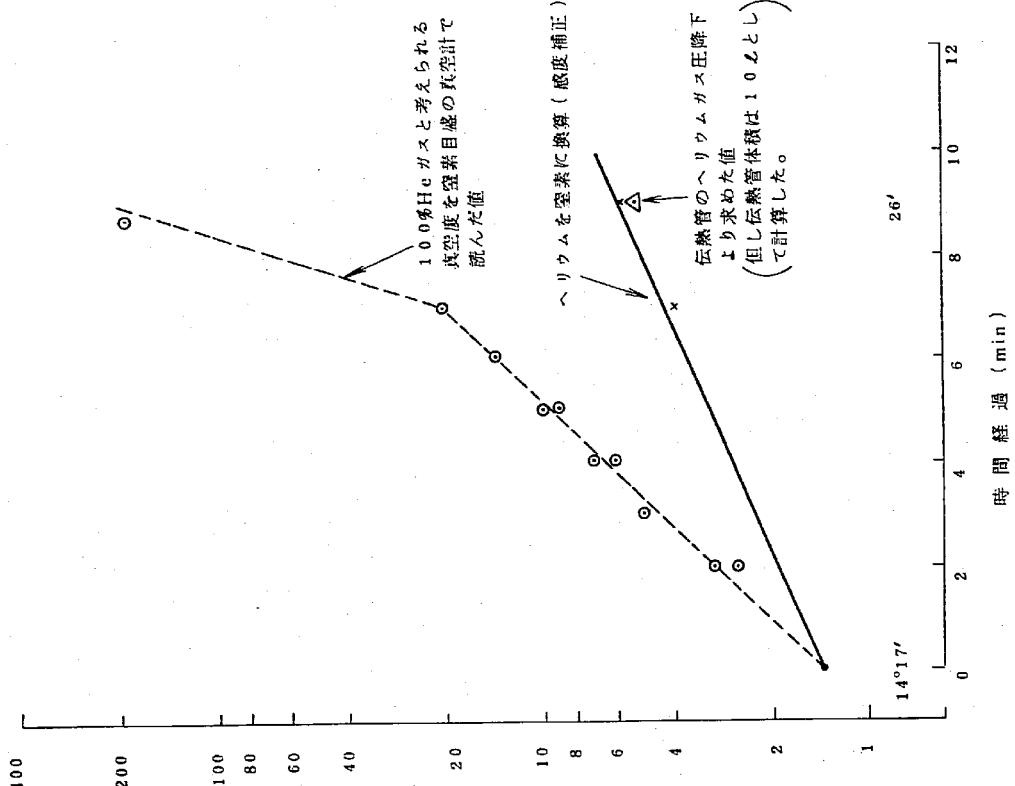


図2-2 伝然管ヘリウム加圧後のシェル側
真空度(ビラニ真空計)の変化

- (6) シェル上下鏡部よりアルゴンガスを供給し、ビニール内空気を排出した。
- (6) クレーンにて上部鏡と1体となつた管束部をゆっくり引抜いた。管束が約1m位引抜かれた時点で、ダランカマと熱遮蔽管との接觸部に写真2にみられるような赤錆び状の異常箇所が見られた。
- 管束が約1／3程度抜き終つたところで、ビニール内に存在していた空気がアルゴンガスによって置換されたものと考え、ビニール下端部を下部フランジ胴に固定密封した。
- (7) 他の異常箇所の有無を調べるため、管束は一端全部引き抜かれ、目視検査されたが、他に異常は認められなかつた。
- (8) 赤錆び状の異常箇所はビニール外に露出され、バブルチェックをしたところ間違ひなく、欠陥部であることが判明した。
- (9) 早速、欠陥部を判断し、他の部分についてアルゴン加圧の圧力降下法により、リーカーの有無を確認したが問題なかつた。



写真2 ビニール覆いを通してみた熱遮蔽管接欠陥部

3.3.3 SG内部観察結果

Na - 水反応のあつたSG内部のNa付着状況や構造的な問題点の有無を調査し、次の写真にみられるよりな事がわかつた。

写真3はSG運転中Naに浸つてある各種の金具類で、左よりダランカマ熱しゃへい管取付金具、中央が管束をシェルに挿入するときのスライドと振れ止めを兼ねた金具、右がダミー管のダランカマ部サポート金具である。熱しゃへい管取付金具は製缶品であり、分離シュラウドへ熱しゃへい管を取付けた状態をみた限りでは、あまりスライド性のあるものと思われなかつた。このため運転時には機械加工品と取替えられた。他の物については特に異常は認められなかつた。

写真4は、ダランカマ側(分離シュラウドの外側)において、SG運転中自由波面部に当るとところで、Na - 水反応による生成物の付着が多くみられている。SG運転中この部分は比較的の高溫になる(SG入口温度には近い)が、Naの流动はない。このため過飽和状態と考えられる不純物層は、この位置より温度の低くなっている下部側への溶解拡散が行なわれ難くなつてゐるものと推定された。



写真1 ビニールカバー法による管束引抜風景

3.4 Na の純化と隔膜式水素計試験

5月7日に次郎部が採取され、これより原因究明や対策などが立てられる保けた。が、その結果により、補修工事が開始されるまでは相当の日数を要するものと考えられた。

そこで、とりえず水リーカによって増えた不純物の精製を行なうことになった。また同時に、隔膜式水素計の性能評価を行なうためのデーターも採取された。水リーカ後ストレージタンクにドレンされた、Na の純度は、SG を含む全系運転において、ブラク温度で 28.5°C であった。この Na は、SG 隔離状態ループ系にチャージされ、コールドトラップにより精製する方法がとられた。ただし、ストレーナーとループ系間はドレンラインのみで、循環系をもたないため、一端ループにて Na をチャージ後、コールドトラップにて純化し、これをドレンするという工程をくり返し、精製する方法がとられた。

図23に、その Na の純化運転経過を示した。この図において○印は Na チャージ直後の、X印はドレン直前のそれぞれのブラク温度を示す。△印は二重ブレーキ現象時の第1ブレーキ点温度を示す。

なお、ループへのNaへのチャージ温度はストレージタンクの温度によってループへ押し上げられる不純物量が制限されるものを調べるため、最初く抑えられた。第1回目は、ストレージタンク温度 1.8°C に対して、Na チャージ直後の Na 運転温度 30.0°C におけるブラク温度は 23.8°C と比較的高かった。この理由はループ系に水リーカ時の中性物（写真4のような）が残留していたためにによるものと推測される。この Na はブラク温度 1.5°C になるまで純化されてドレンされている。このときのストレージタンク温度は第1回目回数 12.8°C に制御されていたが、Na ドレン温度が 30.0°C であつたため、20.0°C まで上昇した。このストレージタンクの Na は、第2回目として再びループにチャージされ、ブラク温度が測定されている。この温度はストレージタンクより 1.0°C 低い、19.0°C であり、第3回目のチャージブラク温度より低いことから考えて、ほぼストレージタンク温度によって、ループに押し上げられる不純物量が制限できることがわかった。これらの傾向は4回目のチャージまでみられているが、それ以後は、ストレージタンク温度が、ループの運転温度になつているため、チャージ後のブラク温度も一時横這になつている。9回目位からは、ストレージタンク内の不純物濃度がだんだん低下していることがわかる。



写真3 各種スライド金具類

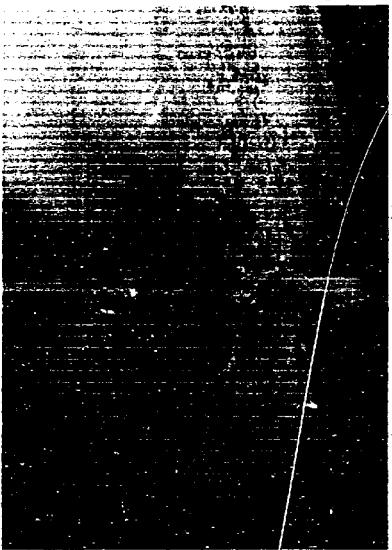


写真4 ダウンカム側自由液面近傍の不純物付着状況

第 6 回目当りから、チャージ直後のプラザンク計には二重ブレーク現象が見られた。これはストレーシャンク内にある各種不純物のうち比較的溶けにくい物質が、Na 温度が高くなり、かつ時刻が経つにつれて溶解したものと解釈される。

図 24 は、前述の Na 精製運転中、隔膜式水素計の水素分圧（イオンポンプの出力）とブレーク温度の関係を調べたものである。

この図において○印でプロットされたデーターは、図 23 の第 1 回から 5 回までの純化運転時のデーターで、ストレーシャンクでは水反応によって生じた水素化物が過飽和状態で存在していたものと思われる。△印は、第 6 ~ 10 回の比較的のブレーク温度が高く、しかも二重ブレーク現象がみられた時点のデーターを示す。□印は、11 ~ 18 回までの二重ブレーク現象がみられるが、いずれのブレーク温度も純化が進むにつれ、低下傾向にあるデーターを示したものである。

したがって、この図からいえることは、温度と隔膜式水素計の水素分圧とが、ほぼ実験で示されるような傾向の関係にあり、実験より高い水素分圧を示しているデーターは、水素化物が過飽和ぎみなのかも知れない。また二重ブレークの高いブレーク温度は、水素化物とは鉄質の物を検知していると考えられる。いずれにしても詳細検討を後輩に譲る。

3.5 原因究明と対策

原因究明のため採取された欠陥部は SQ 製作メーカーに持帰り、各種試験検査が行なわれ、次の様な結果が得られた。

(1) 液体浸透検査

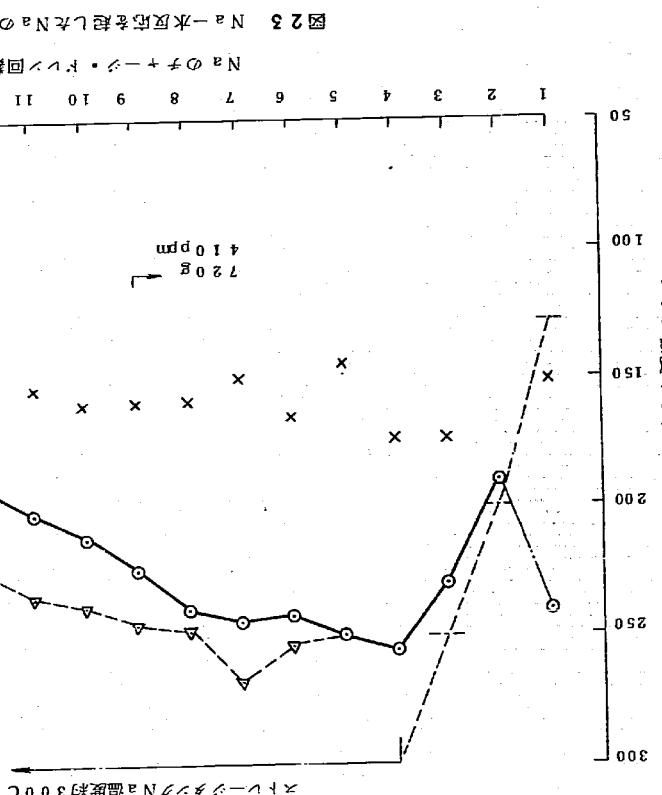
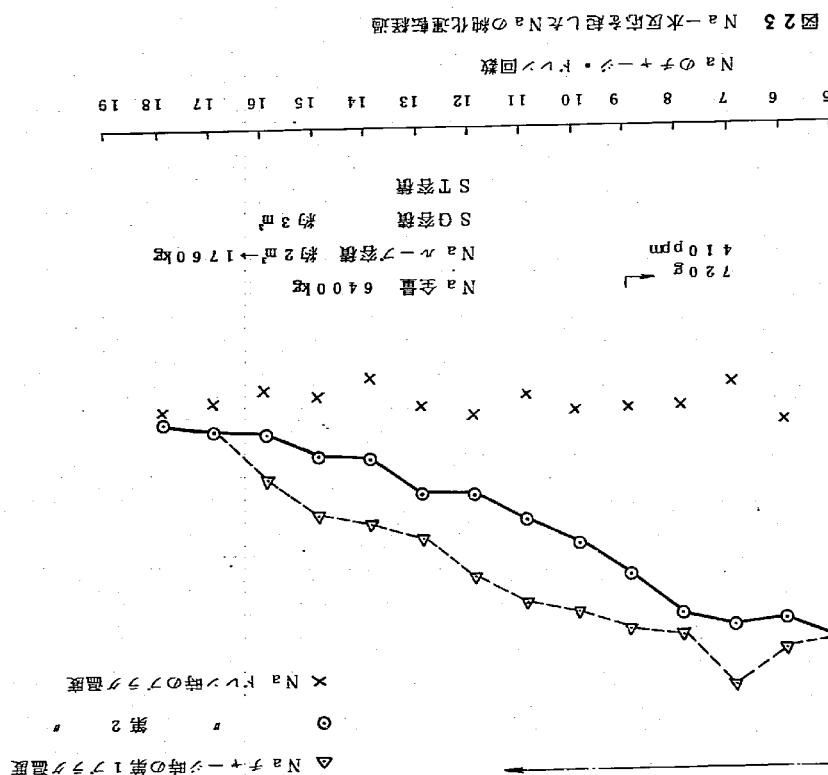
液体浸透検査の結果、欠陥部は外側から内側に向通していることがわかった。外側からみて結果を写真 5 に示した。また外側よりみた欠陥大きさより、図 25 の様な腐形状をしているものと推定された。

(2) X 線検査

X 線検査の結果は割れと思われる部分があり明瞭でなかったようであるが、概略図 26 の様に 8 ~ 10 mm 程度と推定された。

(3) 成分分析試験

成分分析結果は、表 4 に示した通り、いずれも規格値内に入っていた。



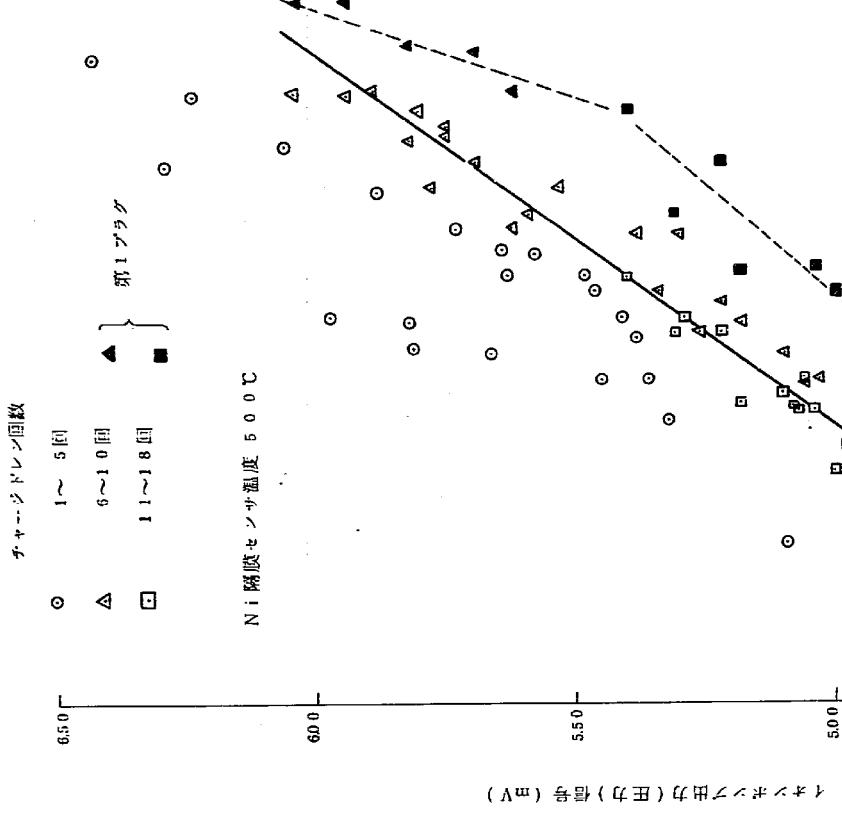


図24 プラグ温度と隔膜式水素計(イオンポンプ)出力との関係
(第1回水リーケ後のNa純化運転データより)

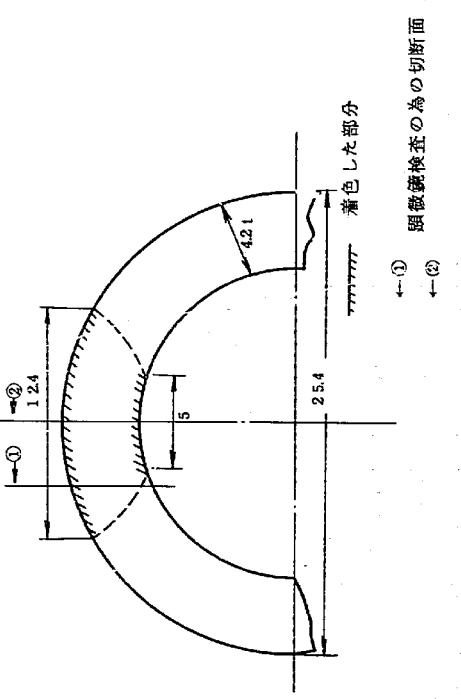


図25 液体浸透探傷検査結果(着色長さ)

表 4 成分分析結果

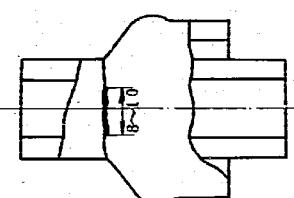


図 26 X線写真のスケッチ

DEPO $\frac{1}{4}$ Cr-Mo

	C	Cr	Mo
規格値	MAX 0.15	1.90~2.60	0.87~1.13
分析値	0.074	2.41	1.13

デンネッカソ STBA 24

	C	Si
規格値	MAX 0.50	0.30~0.60
分析値	0.104	0.42

TLSG 13462

	C	Si
規格値	MAX 0.50	0.30~0.60
分析値	0.104	0.48

ASTM S A 387 G r D 1

	C	Si	Mn	S	Cr	Mo
規格値	MAX 0.50	0.30~0.60	MAX 0.030	1.90~2.60	0.87~1.13	
分析値	0.146	0.20	0.60	0.005	2.41	1.03

(4) 硬度試験

伝熱管肉厚 4.2 mm の管内外より 0.5 mm 深さにおける硬度試験の結果を図 27 に示した。接合部（DEPO）は母材（BASE）より約 2 倍、さらに熱影響部（H.A.Z.）の最も大きいところは、2.3 倍程度になっていた。これらは、同一接合条件で作られた試験片（接合後の純なし）に対する硬さ分布と同じパターンを示しており、欠陥品が、特に異常な硬さを示しているとはいえない。

(5) 路微鏡写真

路微鏡による断面写真は、図 25 の断面①、②で撮影しているが、①の部分では、クラックは内面まで達していない。断面②では、写真 6 にみられるように外面より内面に向ってクラックが完全に貫通している。

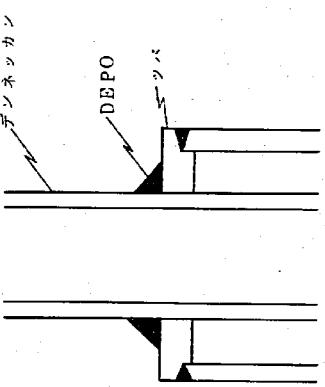
(6) 欠陥部以外の検査

(a) 給水管のガス層部における曲がり

欠陥部の採取の際、取外されたカーバーガス部の給水管は、写真 7 にみられるように U 管については、製作時の形状を示していたが、欠陥のあつた A 管側は両曲しており、屈曲が起っているようになくなられていた。

(b) ダウンカマと熱しやへい管のスライド性

欠陥部採取の際、ダウンカマと熱しやへい管とのスライド性を確認したところ、A 管についてかなり抵抗があることがわかった。そこで写真 8 に示したように、



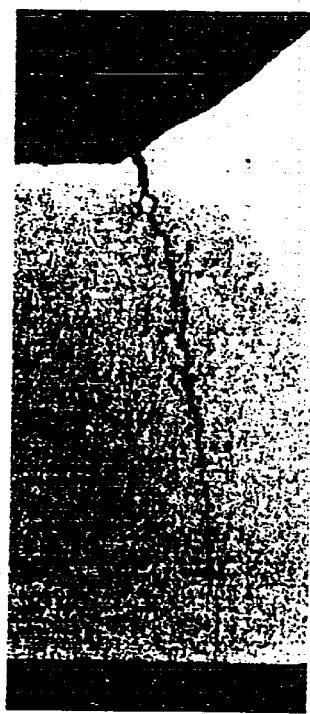


写真6 フランク部断面の顕微鏡写真
×20

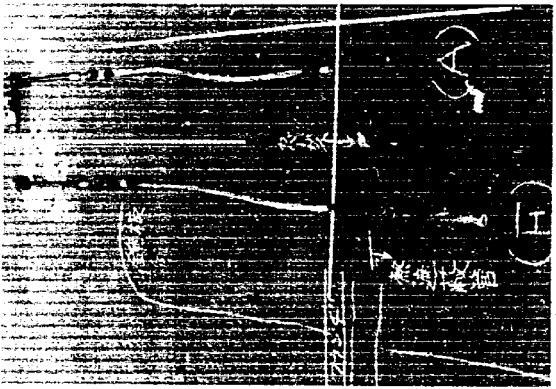
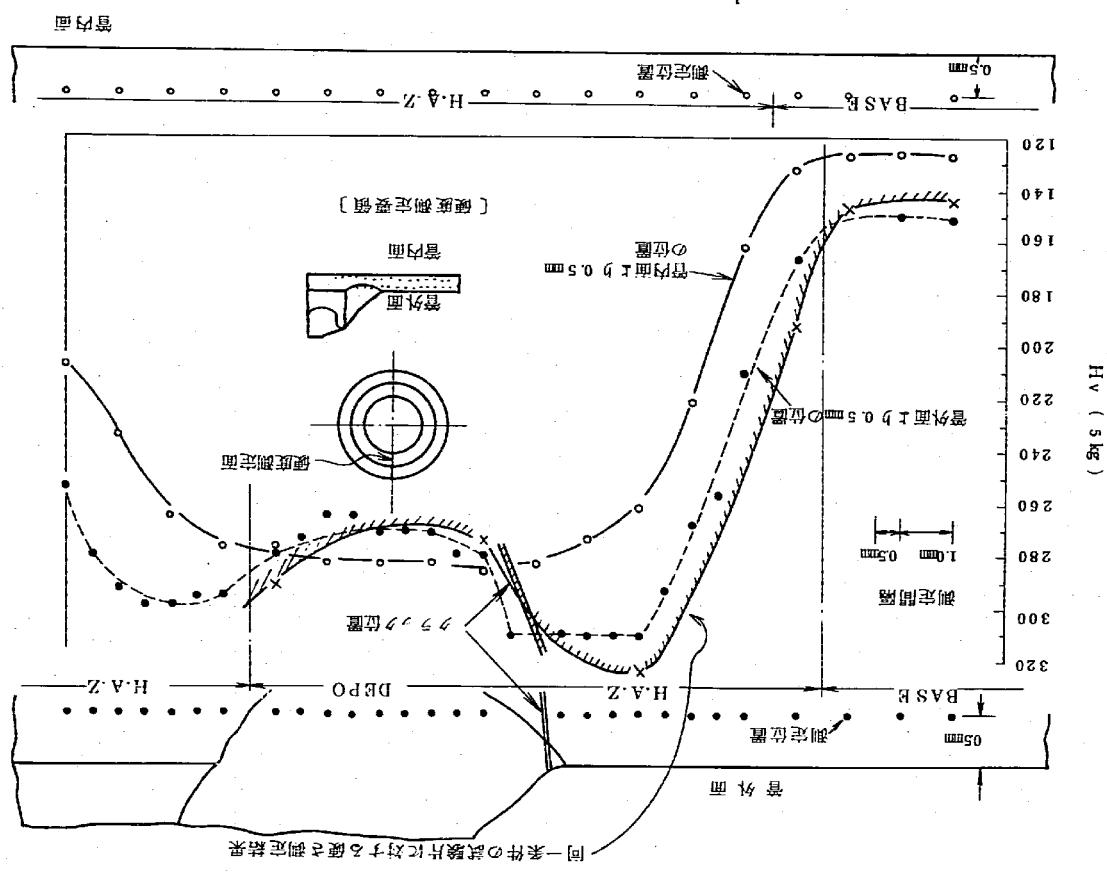


写真7 ガス管部給水管の曲がり状況

図27 $\frac{1}{4}$ -Cr-1Mo鋼管子及び溶接部の硬度分布



(3) 熱しやへい管の下端を約 80 mm 短くし、(写真 8 参照) 壁下端の伝熱管とのスライド部をなくした。

(4) 熱遮蔽管へのガス供給管をこれまでの $2.5 \text{ mm} \phi \times 4.2 \text{ mm}$ より $1.5 \text{ mm} \phi \times 1.4 \text{ t}$ と細くし、拘束力を小さくした。

3.6 検修、改造工事

今回の補修改造工事は、解体検査されたときと同じように機器の Na 洗浄をせずに、Na の付着状態で、しかも狭い場所のため作業性の悪い S.G 室で、ビニール袋で不活性銀團気を作りながら行なわれた。それゆえ、それ作業は慎重さを要した。このためリーアル発生から完全に作業を終了するまでの期間は 4 月 11 ~ 9 月 30 日の 6 ヶ月を要し、日数にして 160 日かかった。このように補修期間が予想以上にかかった理由は、前述の作業性の悪さに加え、梅雨期の工事であったこと、不活性銀團気の管理のまづさなどから、Na を潮解させてしまったことである。これにより約 3 ヶ月間、潮解液対策がしいられた。以下においてこれら検修内容や、潮解液対策について述べた。



写真 8 熱遮蔽管下端の切断

熱しやへい管の下端を切断し、伝熱管サポートとの拘束部を減らした。
以上の結果から、今回のリーアル原因を考察し、要約すると、クラックの断面写真などから考えて高温における再加熱割れや、ターブル破断等の可能性もないわけではないが、主には活性化の強い Na 不純物の存在する環境下においてミネラル接部の腐食が大きい溶接止端部に何らかの応力が集中的に生じ、それにによる応力腐食割れがあったものと考えられた。

対策としては、推定原因の 1 つとして、静応力にあると考えられるところから、この応力を低減するため、A, F 管について、次の様に改修することになった。

- (1) ダウンカムと熱遮蔽管の溶接部構造を図 2-8 の(a)から(b)の様に 1 体削り出し形状とした。この構造は給水管のシェル貫通部にも採用した。
- (2) 熱遮蔽管サポート部のスライド性をよくするために図 2-9(a)の従来の製品を(b)の様な機械削り出し構造とした。

3.6.1 補修作業内容

補修改造は、すでにあきらかにされているように、

- (1) 図 2-8(b)のようにダウンカムと熱しやへい管取付部を 1 体構成とする。
- (2) 熱しやへい管のアルゴン栓排気管は、図 3-1 のように 1 部を細くする。
- (3) 図 3-1 のように、シェル上部鏡の給水管貫通部についても 1 体フリードヘッド構造とした。
- (4) 热しやへい管の分離ショウルドへの取付(押へ)金具は図 2-9(a)の製品から(b)の機械加工品とされた。

- (5) 热しやへい管の下端部は写真 8 にみられたように切断された。
などで、2 本の通水管のいずれについても行なわれた。これら、改造に要する部品は、写真 9 に示したように、すべて工場にて機械加工されて搬入された。
これら部品の接続および、その後の検査等は作業性を重視して、表 5 のような順序で行なわれた。ここで、T0-2 等の記号は図 3-1 にみられる溶接位置を示している。なお、A, F 管は既存並行に作業が進められた。溶接後の熱処理は、

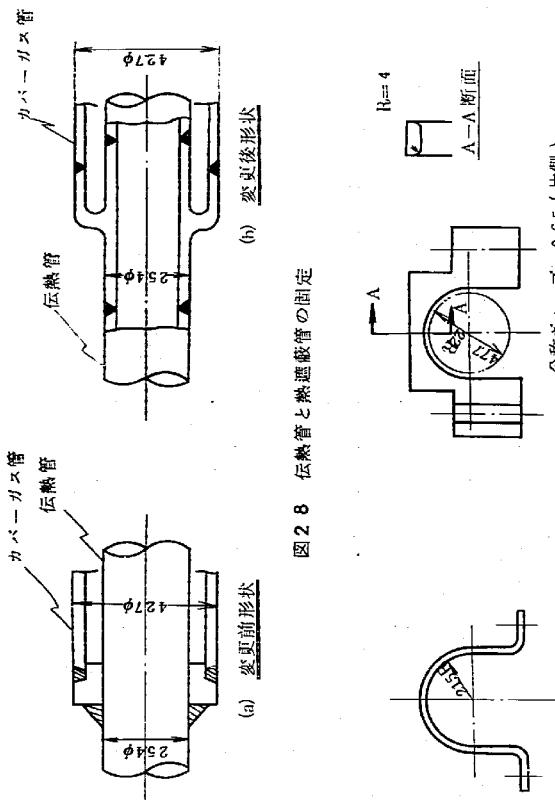


図2-8 伝熱管と熱遮蔽管の固定

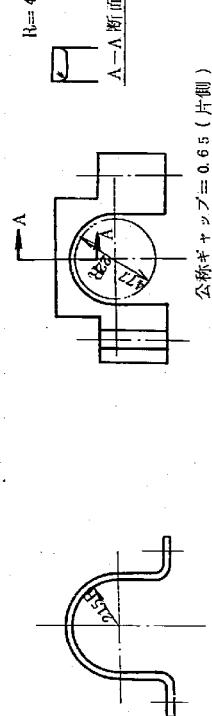


図2-9 热遮蔽管用スライド工具

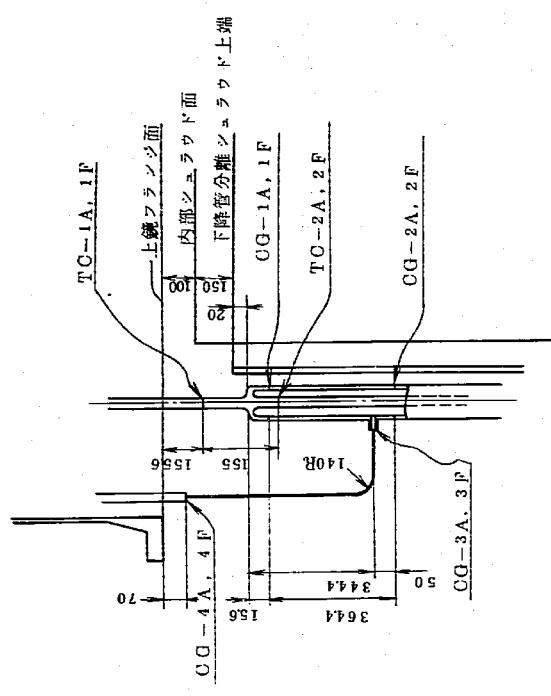


図3-0 热遮蔽管とガス供給管の取付詳細図

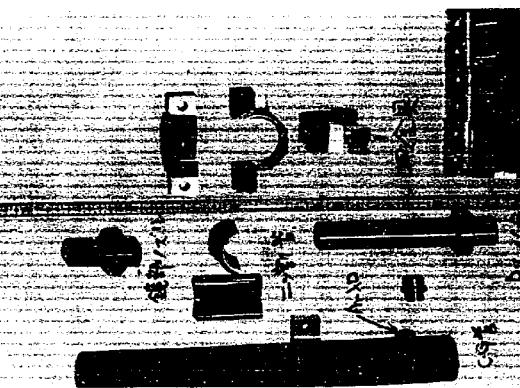


写真9 改造用各種部品

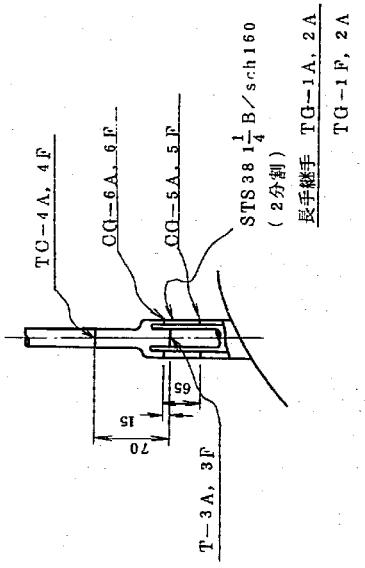


図3-1 伝熱管シユラウド貫通部取付詳細図

リーグ以前のものは、製作メーカーの社内基準で不要といふことでやられてないが、今回は便度を下げるいみでやった方がよいとの判断から行なわれた。その熱処理法は、写真10に示したよるに、溶接箇所にアスペクトを巻き、その上に耐子ニクロム線を通した形のヒーターと保温を取付けて行なわれた。

この熱処理結果の1例を図32に示した。処理条件は、温度約740°Cで放置時間が4.5分程度、昇温速度100°C/h、降温速度が150°C/hと通常行なわれるようならずであった。

3.6.2 Naの潮解対策

(1) 管束挿入前

欠陥部の補修は表5に示した手順のように溶接→カラーチェック→X線→機械耐圧→He試験と作業工数が多く、そのためびに欠陥部及び改造部近傍のビニール覆いが開かれ、管束部が空氣と接する機会が多かつた。

このため、予期しなかつたことがあるが、写真11に見られるようにビニール開口部(特に、Na一水反応生成物の付着が多かつたところ)から、潮解が起り始めた。補修作業が進むにつれ、この潮解は管束全体におびひ及ぼし1.2の様に底部まで完全に潮解してしまつた。ビニール覆の底部に留つた潮解液は、約3.5kg(重量で4kg)であった。

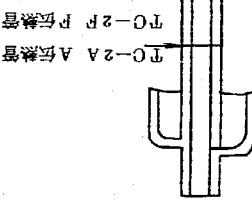


図32 潮解抑制器の効果

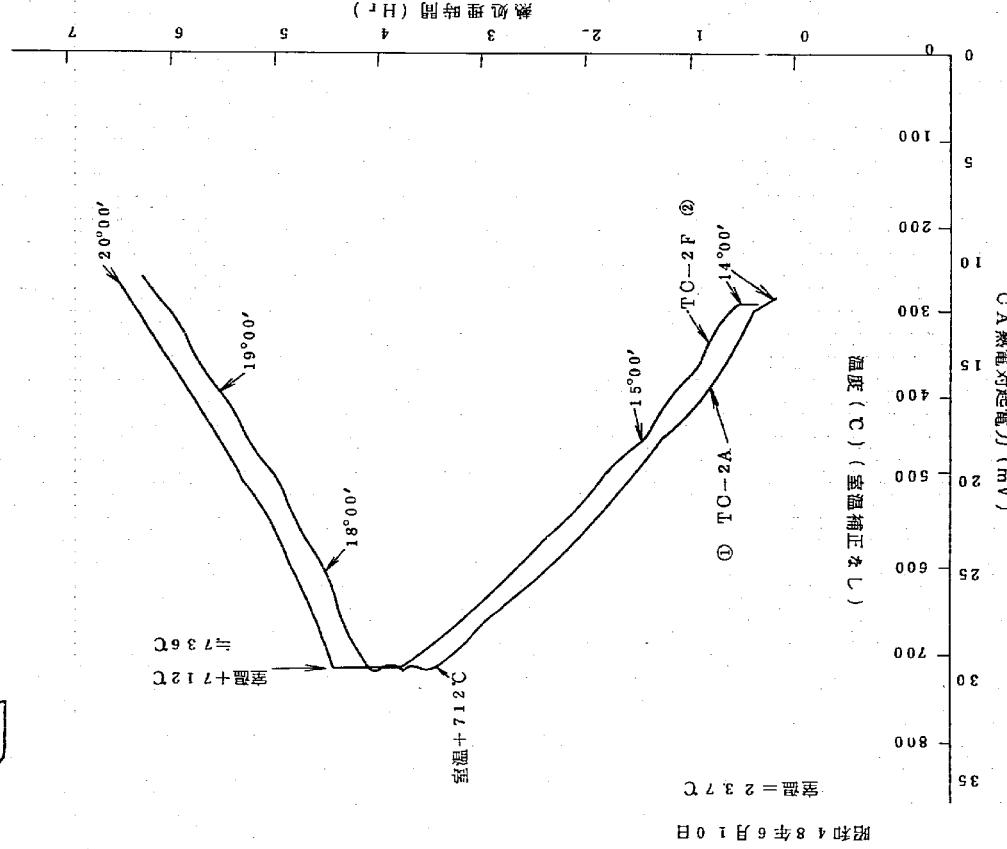


写真10 热処理管上部フリュードヘッド溶接部の焼純

表5 熔接および腐食検査の手順

1. TC-2 熔接							
2. カラーチェック							
3. TC-2 X線							
4. TO-2 焼鉄							
5. TC-1, 3, 4 の順で熔接							
6. " カラーチェック							
7. X線							
8. 焼鉄 (6/13)							
9. TC-1, 2, 3 部の水圧試験							
10. 水抜き乾燥 加熱アルゴンガス通気							
11. He 検査 (伝熱管溶接部)							
12. CG-1, 5, 6 熔接	TG-1, 2 熔接						
13. CG-1, 5, 6 カラーチェック	カバーガス層部						
14. CG-1, 5, 6 焼鉄 (6/19)	(6/20) Na潮解の問題発生						
15. CG-3, 4 熔接							
16. CG-1, 5, 6 X線検査							
17. 熱遮蔽管サポート取付 (6/25)							

写真12 管束底部に見られる潮解液

これら、Na潮解の原因は、補修作業に伴うビニール開口によるものでは無く、不活性ガスに既設のアルゴン供給系を使用したが、その供給能力が小さく、時々ボンベ交換の際、アルゴン供給が途切れたり、さらにはアルゴンが空気より重いため、管束底部にその圧がかかり、ビニールのわざかの隙間にアルゴンが洩れ出し、代りに、上部からは空気が漏れ込むといった現象があつた。

(注記) このため第2回リーケーク補修では、この時の経験をいかし、液化空素(気化ガス容量 100 Nm^3)の氣化ガスを用いたところ、補修期間も短かつたことなどから、Naの潮解現象はほとんどみられなかつた。

次陥個所の補修作業が終るごろには、全面潮解した管束は、上部乾燥しているところ、表面が白いフレーク状粉末で覆われ始めた。そこで構材がはじめにした潮解液に漬っているよりは、乾燥していた方が、構材に与えるダメージは少ないと考え、積極的にビニールを外し、空気中の炭酸ガスにより、潮解液の炭酸ナトリウム化を計るとともに乾燥につとめた。

また、リーケークとした化した不純物は、写真13にみられるように、管束をシェルに挿入する前にできるだけ除去するようとした。

分離ショウラウド表面の不純物は、ブラッシングにより取除いた。写真14の管



写真11 ビニールの開口によりNa自由表面近傍のNa-水反応生成物と思われる付着物が潮解を始めている。

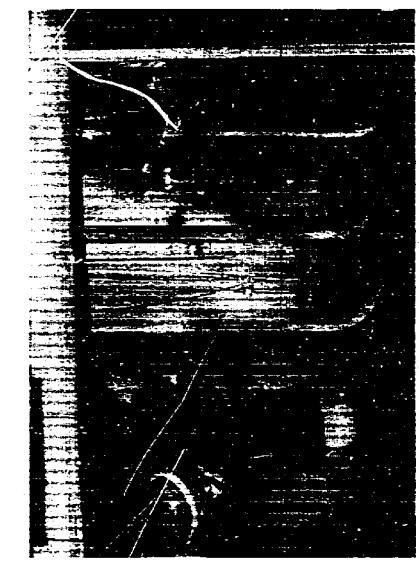


写真13 Na潮解、乾燥で生じた不純物（フレーク状）の除去風景

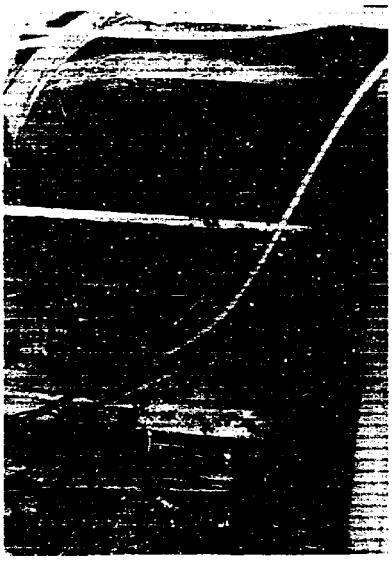


写真14 管束上部（カバーガス空間）の不純物の付着状況

東上部は管側や熱電対、さらに液面計等が入り組んでいて、アラッシャング法が使えないかったので、ガス噴射ノズルを用い、罐蒸ガスにより、シーリングを吹き飛ばす方法がとられた。ただし、ヘリカルコイル部は、なすすべがなくそのままの状態で、シエルに挿入されることになった。ただしこの部分は、管束挿入時点でも、潮解液が完全に乾燥しない状態であった。

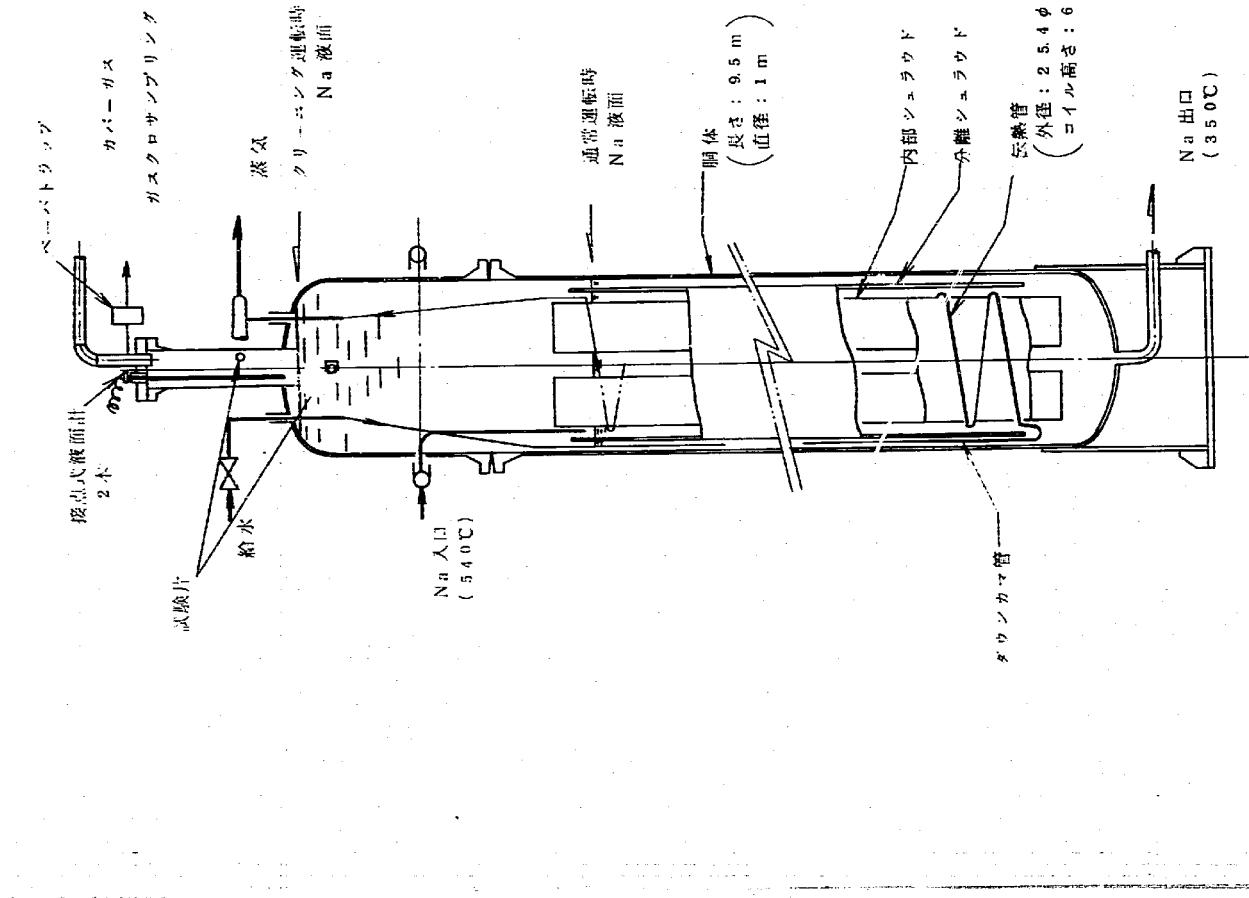
- (2) 管束挿入後
- 前述の様にNaの潮解によって生じた不純物はできるだけ除去されたが、ヘリカルコイル部は除去作業ができなかつた、それと、まだ湿った状態であった。そこで、管束をシエルに挿入したあと、リップシールを行ない、完全に気密が保てる状態にしてから真空乾燥することになった。
- 真空引きは、SGを架台に据付た状態で、SGの出口Na配管(2B)より仮設真空ポンプ（排気容積1200ℓ/m³/m）で行なつた。最初は予熱されない状態（予熱上ヒーターを入れても熱容量が大きいため温度が上がらず）で真空引きされたが、相当混分があるとみえて2.8Torr以下での真空にはならなかつた。真空引きと同時にSG本体を100℃以下を目標に、予熱ヒーターにより昇温を開始した。
- 真空引きは昼間の3日間に限つて行なわれた（夜間は真空放置）が、この間に、真空ポンプ内に水分がかなり留つくるのが判つたので、3回程オイル交換が行なわれた。

最終的な真空度は、予熱温度90℃で、2Torrまで真空度がよくなり、ほぼ横ばい状態になつたので、乾燥されたものと判断し終了とした。

その後、SGとループの水蒸気およびNa系の電気計測制御系等の接続が行なわれた。

なお、6月20日Naの潮解を確認してから、SG製作メーカーにて潮解液対策が種々検討されたが、これといった良策は得られなかつた。そこで急きょの策としてNaによる洗浄運転することになった。

その場合、問題になるのがSGの通常運転中、Naと接しないカバーガス層部の洗浄をどうするかであった。そこで、カバーガス層部もできるだけNaで洗浄できるよう、ガス系やレベル計を図るに示したように取付けられた。



3.7 S OのNaによる洗浄運動

S Oに付着していたNaは、先の補修工事によって、潤解が起つた。このS OのNaによる洗浄運動は、7月18日より始られたが途中で、コールドドライプが開始し、交換工事が行なわれたため、2回にわたって、運動されている。すなわち、第1回の洗浄は7月18日より28日にかけて行ない、これより8月7日までがコールドドライプの交換工事、その後第2回目は、8月9日より9月7日まで行なわれている。

これらの洗浄は前述の様に通常運動レベルとガス隔離部の洗浄を目的とした高レベル運動とに分け、図3-4に示したように200°Cのア熱状態より、段階的に温度を上げ、このときのブランク計のブランク温度や、隔膜式水系系およびガスクロの変化から、洗浄具合をみながら進められた。また、この運動において、Na不純物のNaによる洗浄効果を知るため、水酸化トリウムの溶液に浸したテストビースを隔離部とガス隔離部に分けて吊り、洗浄終了後、取出して見たが、液体とガス間との差はみられなかった。

これらの経過は、まず7月18日に、Naループ系とS O系へNaをチャージし、Na温度を200~210°Cのア熱状態に保いて、10日間ほど運動した。このときのブランク温度は210~190°C、カバーガスの水蒸気濃度200ppm前後で10日間あまり変化がなかった。11日目にNa温度を210°Cから240°Cに昇温したところ、ブランク温度が190°Cから210°Cに上昇した。この点よりコールドドライプの流量が1.0L/minより2.2/minと、どんどん低下し増やさずにも増せない状態となつたため、7月28日に一端Naをドレンし2コールドドライプの交換工事を行なうことになった。

なお、この工事と合わせて、Naループ系よりNaをサンプリングするための装置の取付け、7月30日~8月8日にかけて行なわれた。

これらの工事が終つて、翌8月9日に再び、Naループ系とSGとNaがチャージされ、S Oの洗浄運動に入つた。

初期運動はNa温度220°Cでコールドドライプの設定温度を210°C程度から少しつつ下げていき、ブランク温度の様子をみていた。運動開始2日目には、最初220°Cであったブランク温度が190°Cまで下がつたので、これまで継続していった隔膜式水系を活かし(ニッケル吸収温度を50°Cに設定し)Na中の水素も監視するようにした。

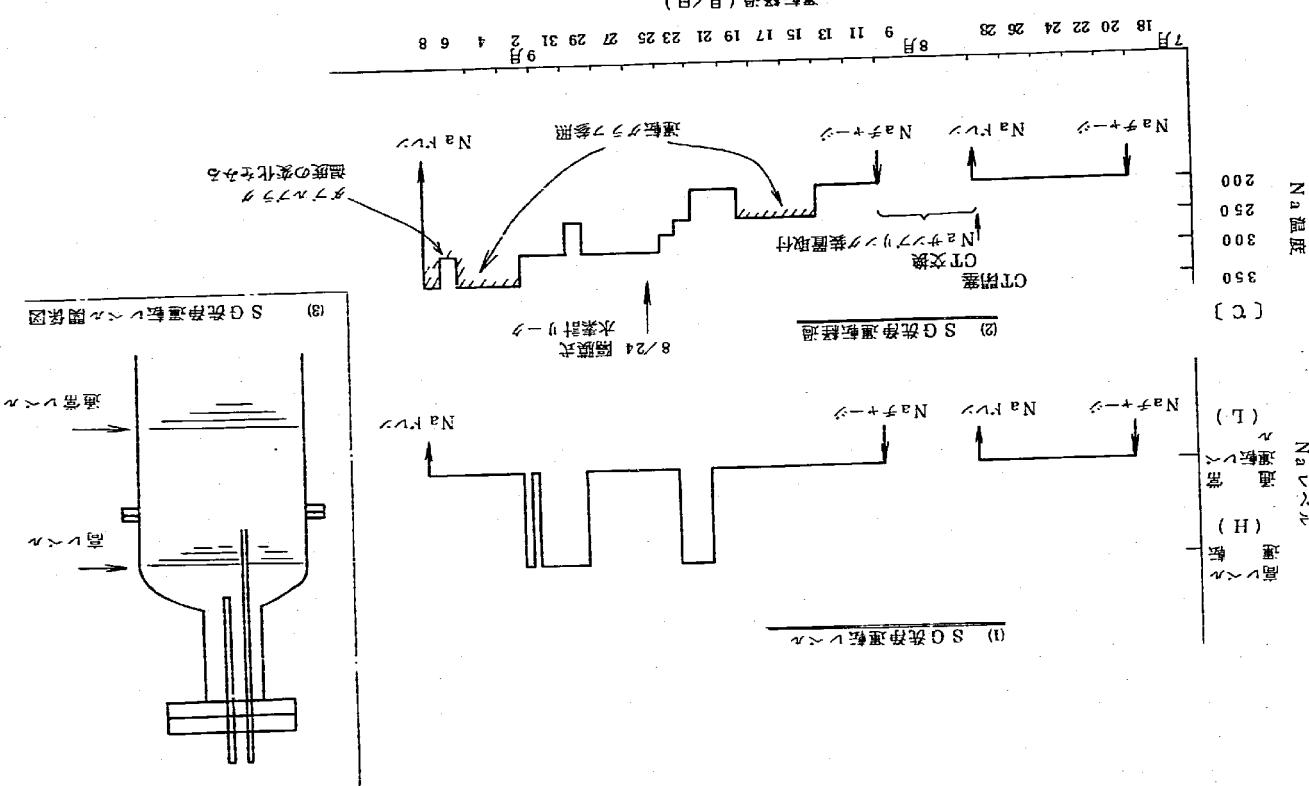
図3-3 蒸気発生器本体のNaによる洗浄運動系統図

プラグ温度 18.6°C における隔膜式水素計の水素分圧は 6×10^{-7} Torr と比較的小さかった。そこで、8月13日にNa温度を210°Cから250°C程度に上げたら、図35に示したように、ガスクロの水素濃度やプラグ温度の上昇があった。その後はコールドトラップによる純化が進み、プラグ温度は、150°C位まで下がった。そして、次の高レベル運転をするため、8月18日にNa温度を一端250°Cより200°Cまで下げた。Na温度が200°Cまで下がった8月20日には、Naをシェルの放出系近くまで上げ、洗浄運転が行なわれた。しかし、高レベル運転におけるプラグ温度、および水素計は何ら変化がなかった。8月21日にNa温度を250°Cにしてみたが、変化はなかった。そこで8月22日にNa運転レベルを通常時にどし、Na温度を270°Cにしてみたが、やはり変化がなかったので23日にNa温度を300°Cまで上げた。この頃より、ダブルフランジの最初(第1プラグ温度を示している)の温度が徐々にではあるが上昇し始めている。また、Na温度を250°Cから300°Cに上升してから間もなく隔膜式水素計のイオンポンプ貯留室に異常上昇がみられた。翌24日になって、ニッケル隔膜にNaリーカーがあつたことがわかつた。直ちに隔膜温度を下げ、この系統を停止させたが、SGの洗浄運転は実行することとした。

Na温度300°Cにおける運転では、第1プラグ温度が160°Cより200°C程度にゆっくり上昇し、その後わずか低下するかのようにみられたが、ほぼ200°C一定となつた。そこで、あまりプラグ温度の変化が少ないので、第2回目の高レベル運転をすることになった。8月28日、一端Na温度を260°Cまで下げ高レベルしてから再び300°Cにしたが変化はなかった。これまでの運転でプラグ温度は、第2がほぼコールドトラップの最低温度である140°Cまで下げられたが、第1の方は、以前200°Cと高い値を示していた。しかし、第1プラグ物質は、これまでの挙動から考えて、通常問題とされている酸化物等ではなくらとの判断から、カーボンスレッドをNaで焼却する意味で1回高レベルと通常に戻す操作をし、その後Na温度を300°Cから350°Cにすることにした。

図36にその後の洗浄運転終了までの経過を示した。この図によるとNa温度がある300°Cになつてから、第1プラグ温度が急激上升し、フルレンジで350°Cをオーバーしてしまっている。この状態が3日程続いたあと、Na温度をプラグ温度と同じ300°Cまで下げてみた。その結果、第1プラグ温度は急激に低下し、200°Cを割ってしまった。またNa温度を350°Cにもどすと、プラグ温度

図34 SGのNa温度とガス供給運転時間



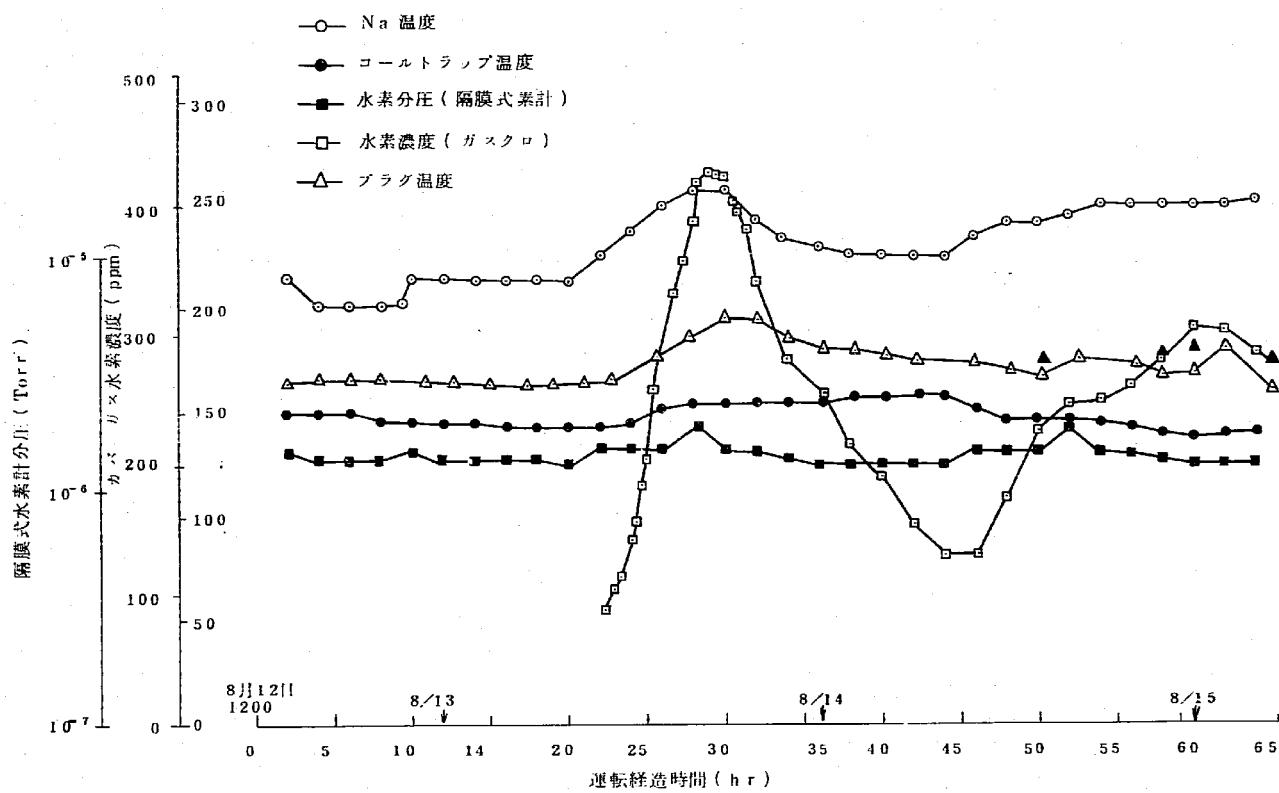


図3.5 SGのNaによる洗浄運転経過

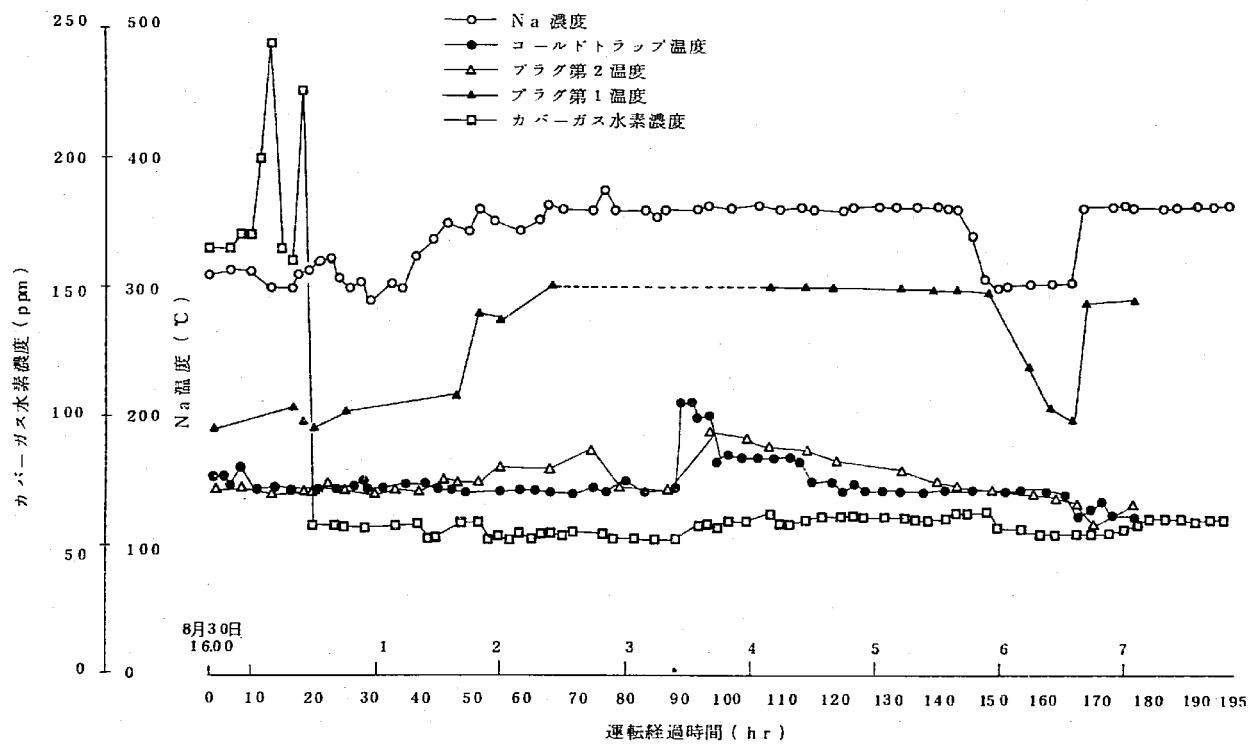


図3.6 SGのNaによる洗浄運転経過

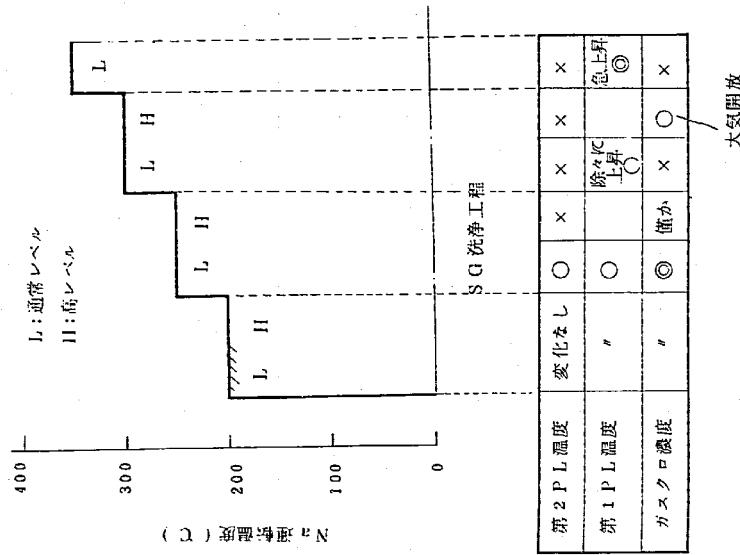
も同じ様に上がっている。この様な状況から考えて、このプラグ物質は、350℃近傍に変移点をもつ物質で、通常考えられている溶解性の水素化物や、酸化ナトリウムとは、異質のもののように感じられた。それゆえ、これまでの運転では腐食性物質は、洗浄除去できただと考え、Na 蒸度 350℃による高レベル運転は取り止めとした。

これまでの経過を要約すると、図 3-7 のようになる。

洗浄運転の最終回となった 9 月 5 日には、オンライン Na サンプリング装置により、Na をサンプリングした。

この結果は、サンプリングラインの温度が低かったせいか酸素、水素ともプラギンガ温底から予想される値よりも大きかった。この系統は、その後不純物により閉塞を起こしている。

なお、参考までに記しておくが、8 月 24 日に Na リークを起した隔壁式水素計の抜取膜は 9 月 20 日から 29 日にかけて交換工事が行なわれた。このとき、これまで質量分析計の耐久性に問題があつたなどから、オンラインプロップのみで測られていた水素分圧を電離度計でも測定できるようにした。



- (1) プラグ温底より SG 清浄の程度を判断するのは困難であった。
- (2) 第 1 プラグ温底の物質は判断がつかない (Na_2CO_3 , C, 銅成分らしい)
- (3) ガス層に NaOH が付着していたとしても、300℃までの運転で除去されたと考えられる。
- (4) 第 1 プラグのあるまま高レベルに上げるのは ○
- × : 汚れたものと上げてしまつ。
- (5) ダンプタンクに高溫ドレシ後、低温チャージしダブルブランクの変化をみる。
- (6) SG 清浄終了点の判断

図 3-7 Na による SG 清浄結果の纏め

4. 第2回伝熱管リーグ

昭和48年11月19日に、第2回目の伝熱管リーグが起つた。すでに前2章2.2節にて
説明した。

そこで、ここでは第1回同様に、リーグ検出から欠陥部の補修に至るまでを順を追つて述べることにする。

4.1 リーグ現象と処理

図3-8に第2回目の伝熱管リーグ時、前後におけるNaおよび水蒸気系の主な運転経過を示した。11月18日までは、すでに図15にあきらかにした様に水单相流試験が行なわれていたが、19日にかけて、蒸気試験を行なうため、Na温度および蒸気圧力を上げる操作をしている。3時頃には、性能条件への設定が終り、あとは温度設定を持つばかりとなつていていた。その後こうしているとき、3°49'にガスクロの水蒸気温度のアラームが鳴りだした。異常を知らされた運転員は、図3-9のように隔壁式水素計、ガスクロとともに指示が上昇していることを確認して、ほぼ水リーグとしたようである。さらにダウンカム熱遮蔽部のNaレベル制御が自動にされている状態で、ガス放出弁が開のままになつていることなども確認されている。

このため、図3-8でもあきらかのように、4時には停止操作に入つた。停止操作は「アイソレーション」スイッチによらないで、すべて「マニュアル」操作によつた。リーグを確認してから、SGが完全に隔離され、Naがドレンされるまでの経過は次の通りであった。

3° 49' カバーガス水素濃度計（ガスクロ）の高アラーム。
ガスクロ 5000 ppm オーバー。

ダウンカムレベル制御放出弁→開放のまゝになつていることを確
認。

3° 56' ダウンカムレベル制御系SGレベル制御系は「自動」→「マ
ニュアル」(A→M)に切替、放出弁を開いたが、差圧が大と
なつたままで変化なし。
リーグヒストリーパンく停止操作に入る。

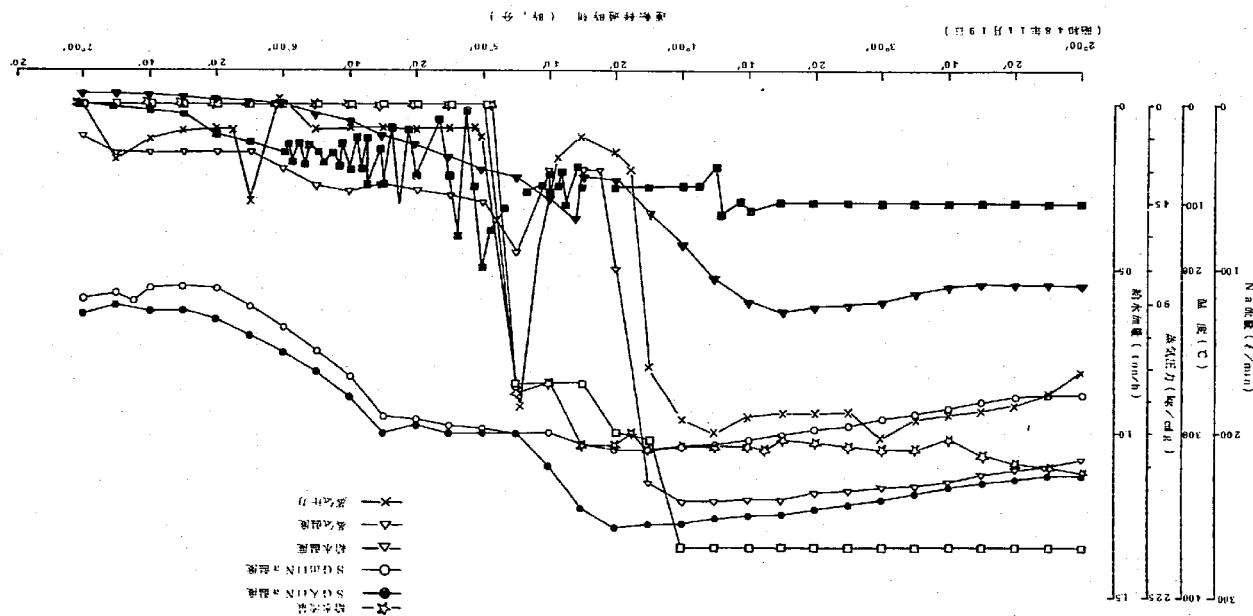


図3-8 第2回同様に、リーグ検出から欠陥部の補修に至るまでの経過

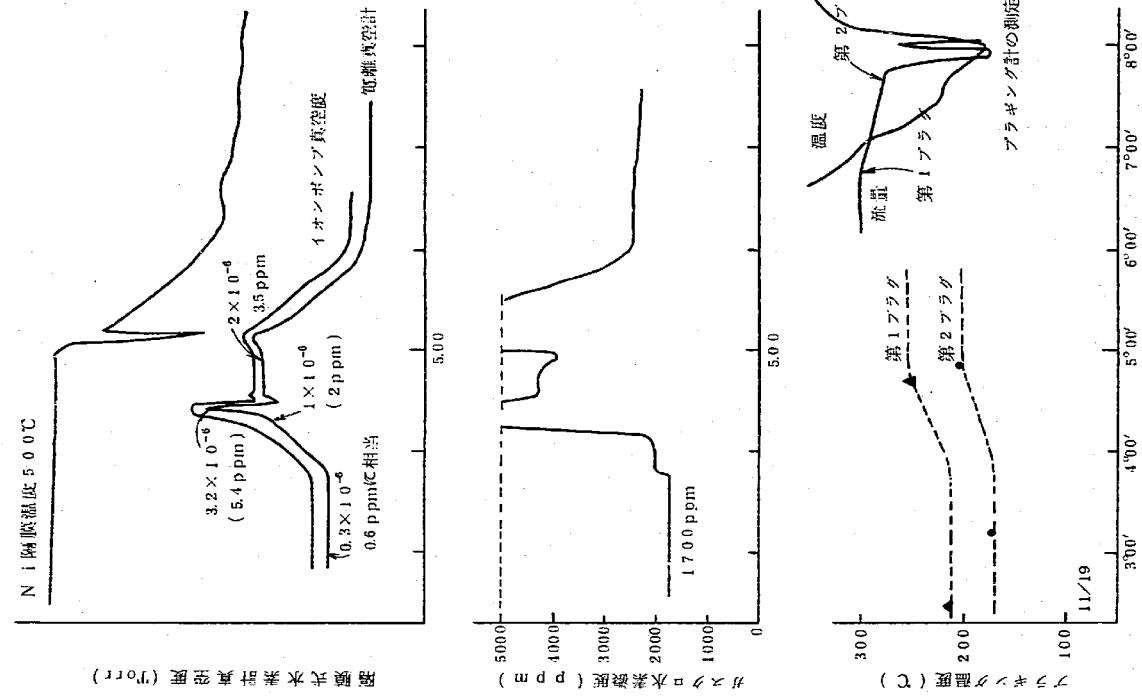


図 39 伝熱管リーカ時各種水素の挙動(第2回リーカ)

4° 0 2' N a 温度降下 流量降下
水側ヒーター断(1本)
1 2' V - 1 0 1 全開
1 6' SG給水バイパス弁(AV - 2 0 4)開
1 7' 給水入口弁(AV - 2 0 3)閉
2 2' SGレベル 6 0 0 → 5 0 0 mm
2 7' 給水流量 1.2 5 → 0.8 t/h
4° 3 0' 磨耗式水素計 振り切れ
3 1' SG隔壁 V - 3 開, V - 1, 2 閉
3 6' SG出口蒸気弁(AV - 2 0 1)閉
4 4' 給水ポンプ停止
4 6' AV - 2 0 3, 2 0 1 開, AV - 2 1 4 閉
AV - 2 0 3 閉 第2減圧弁閉
5 8' DC, SGレベル制御 A → M
SGガス圧 0.8 kg/cm²
5 9' 伝熱管A↑加圧 6.5 kg/cm²
5° 0 0' V - 1 0 1 閉
0 1' N2ループの緊急ドレン
0 6' SGガス圧 1.0 k
0 8' SG・N2ドレン SGガス圧 1.0 5 k
1 8' 伝熱管A↑圧 5 9 k

以上の停止操作が終った後、リーカ個所について種々検討、調査された。それによれば、今回のリーカはダウンカム熱しやへい管内のレベル制御用のガス放出弁が開いたままである等の状態からして、ほぼ、ダウンカムの熱しやへい管内であろと予測が立てられた。

これをうづけるものとして、熱しやへい管内の図2のような位置に取付けられた熱電対の最高部の熱電対(T/C1)温度は、18日より19日にかけて、蒸気圧力の昇圧操作の終った2:20'頃より温度が40°C程下がり、その後温度変動が大きくなっている。さらに、ガスクロの水素濃度「高」のアームが出了4時頃

になつて、最下端熱電対 (TノC-4) 溫度が 80°C ほど急激に上昇しているなどである。

これらの温度変動は、この時の燃しへい管内の Na レベルがほぼ最下端で測定されていたことを考慮して次の様に解釈される。
まず、水リーカが開始したのは、20' 23' の急激に温度が下がり始めた段階である。それから、しばらくはリーカ水は過熱蒸気となつて、レベル制御系の放出弁より放出され、また、不活性ガスが存在している中でもあり、急激な Na - 水反応もなかなかたと思われる。しかし、そのうちリーカが放出量よりも多くなつて、だいだい燃しへい管内の Ar ガスも薄められ、4 時頃になつて蒸気が下端より Na 中に噴き出し始めたのである。これより、第 1 回補修時に燃しへい管外に開放されるようになつた最下端の熱電対 (TノC-4) がその Na - 水反応により、温度上昇させられたものと考えられた。

4.2 リーカ確認試験

各種水リーカ検出器により、水リーカと断定されている訳であるが、その規模の程度や、できればリーカ位置まで確認したいということで、リーカ確認試験が行なわれた。

このリーカ確認試験は、表 6 に示したように、リーン当日である 11 月 19 日より 12 月 7 日にかけて 7 回行なわれ、このうち 1 回 ~ 4 回までは管束引抜き以前に、5 回 ~ 7 回は、管束引抜き後にそれぞれ行なわれた。

ここでは、1 回から 4 回までについて述べ、それ以降については、次筋に譲る。
なお、管束引抜き以前の確認は、第 1 回リーカ時間検・次のようなく 3 段階において行なわれることになった。

第 1 段階 周波のまでの確認 (A・F 管同時)

第 2 段階 2 本の通水管を別々に切り離し、どちらの管にリーカがあるかを確認する。

第 3 段階 リーカ箇所がダウンカム部かコイル部かの判定をする。できれば、位置的確認を行なう。

Na ドレン後の SG は、Na 切りがよく行なわれることと、セルフフラグがないようとのことで、300°C の予熱状態に保ち、さらに伝熱管には 9.0 kg/cm² 程度の

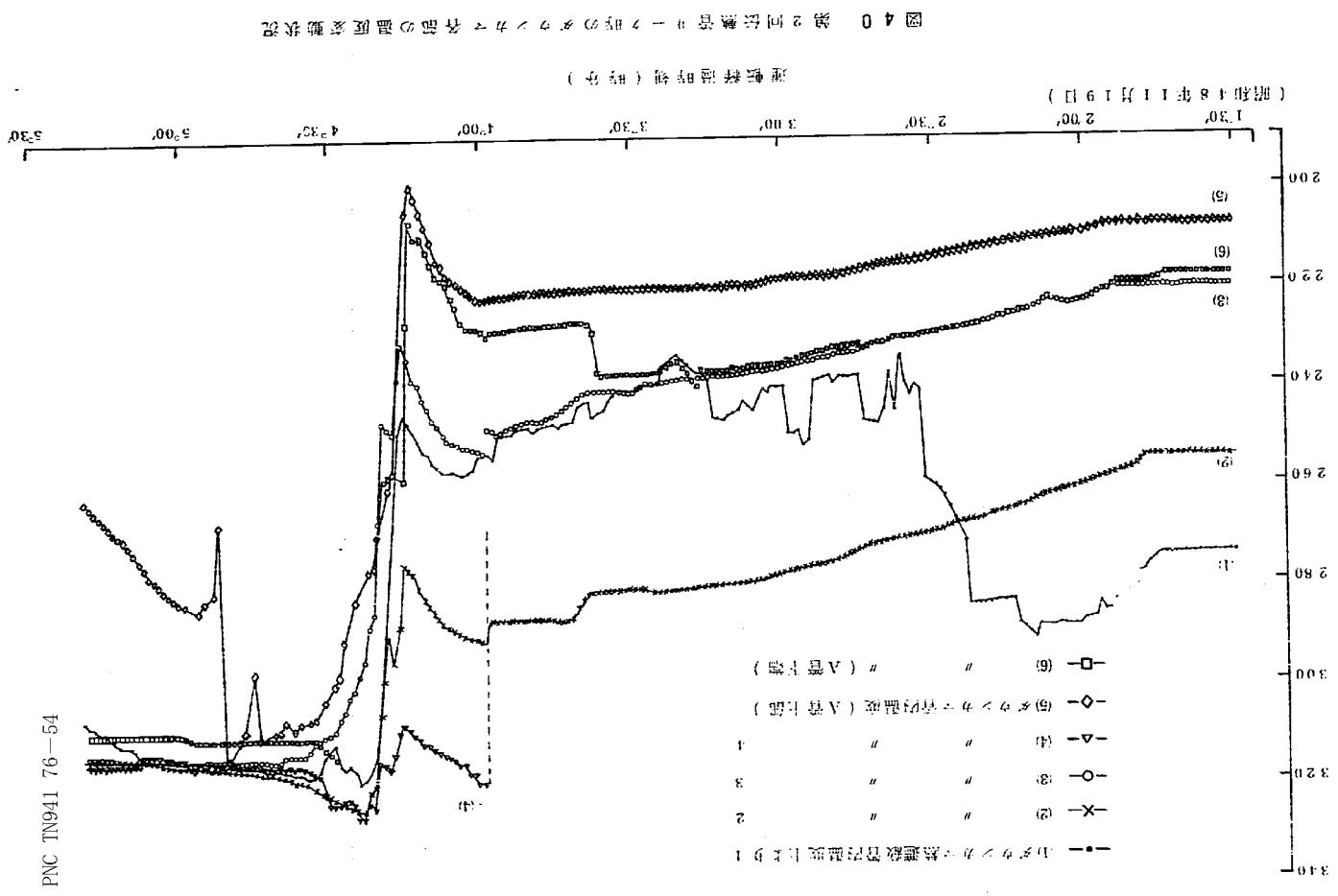


表 6 リーグ確認試験

順序	試験項目	試験項目	試験II
1.	A・F管向時アルゴン加圧：圧力降下		11/19(リーグ判明)
2.	A・F管向時H e 加圧：圧力降下 カーバガス圧上昇		"
3.	H e 検出		11/23
4.	A・F管別個 音響検出併用 ダッシュカマかコイル部の判別		11/24
5.	N a 中H e 試験 A・F管別個 管束引抜き時 H e 試験 (ガス供給 壊切後)		12/4
6.	燃しゃへい解体時(バブル)		12/5
7.	欠陥部撤去後管束の健全性試験(コイル部)		12/7

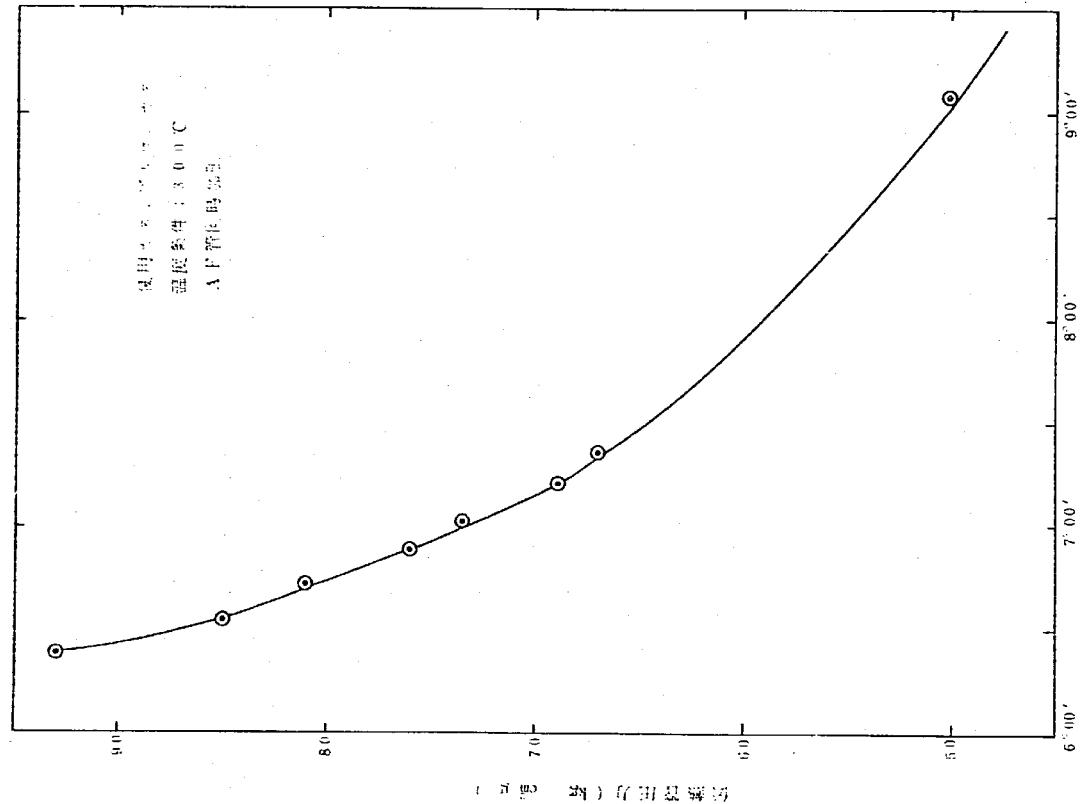


図 4-1 リーグ直後の伝熱管圧力降下試験(第1段階)

アルゴンガスを加圧していた。それゆえ、第1段階ではこの圧力低下をみるとことにより、リーグ程度を知ることができると考え、データー採取された。

その結果は、図4-1にみられるように、圧力降下は著しかつた。しかし、SGが水蒸気のループ系に接がつている場合、その隔離弁や、各種計器弁からの洩れも予想されるため、このデーターだけから、リーグ規模を云ふるのは危険であつた。

そこで、伝熱管にH e を加圧し、この圧力降下とともににシェルの圧力上昇とヘリウムデータによるヘリウム検出をこころみた。図4-2は、その時の模様を示すもので、シェル内のヘリウム検出は底よく行なわれている。

第2段階では、2本の通水管をSG出入口給水側と蒸気側とで切断後とし、A・F管それを分離独立させ、F→A管の順で、ヘリウム加圧降下、シェル内圧力上昇、およびヘリウムデータを行なつた。すでに予想されていたより、F管には何ら異常は認められず、A管側で図4-3のようにリーグの現象があつた。

今回のリーグ試験は、欠陥部以外からの洩れが、皆無になつてゐるため、圧力降下の割合は、前回より大分小さくなつてゐる。シェル内のヘリウム検出結果は、SGカーバガス系より測定されており、シェルの容積が約3.5m³と大きいため、約1時間程の時間遅れとなつて検出されている。

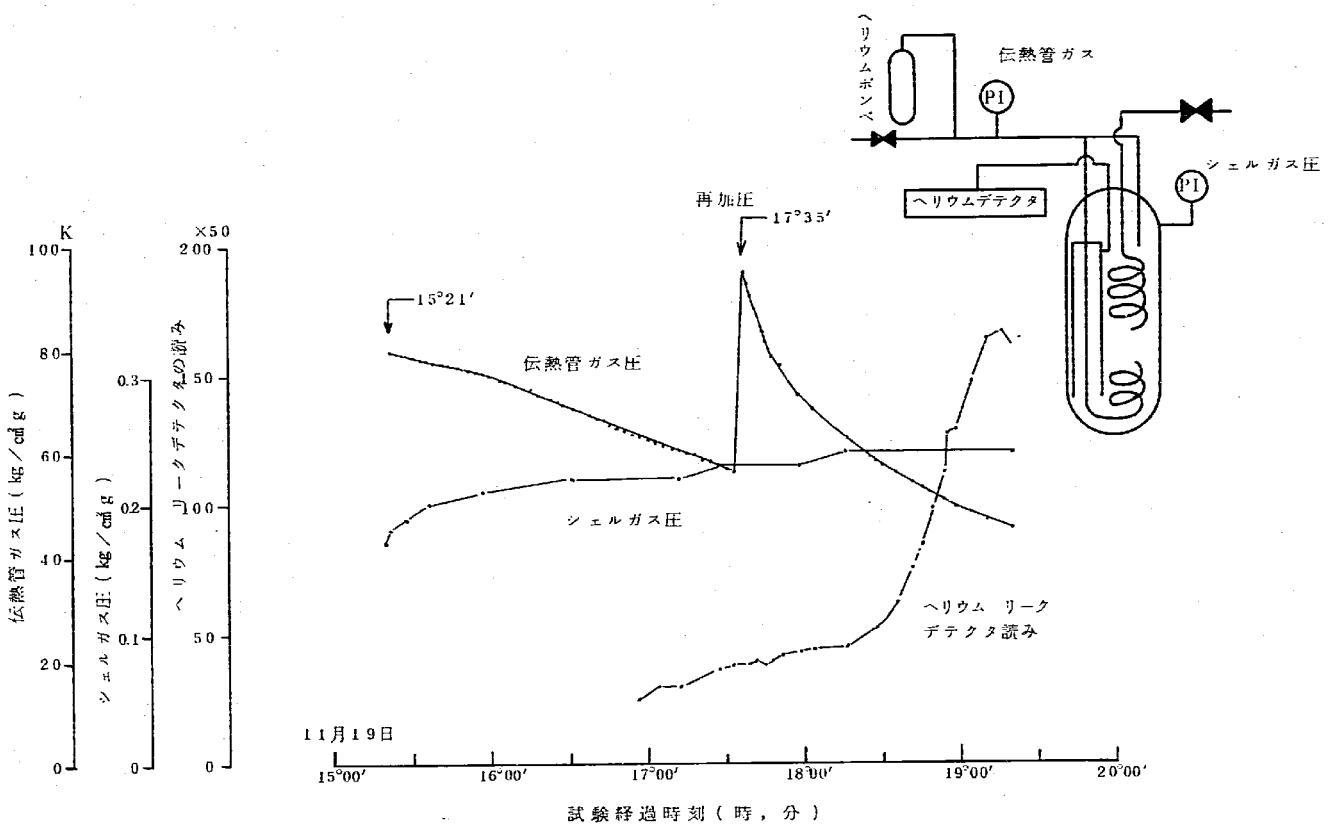


図4-2 リーク確認試験結果(第1段階のその2)

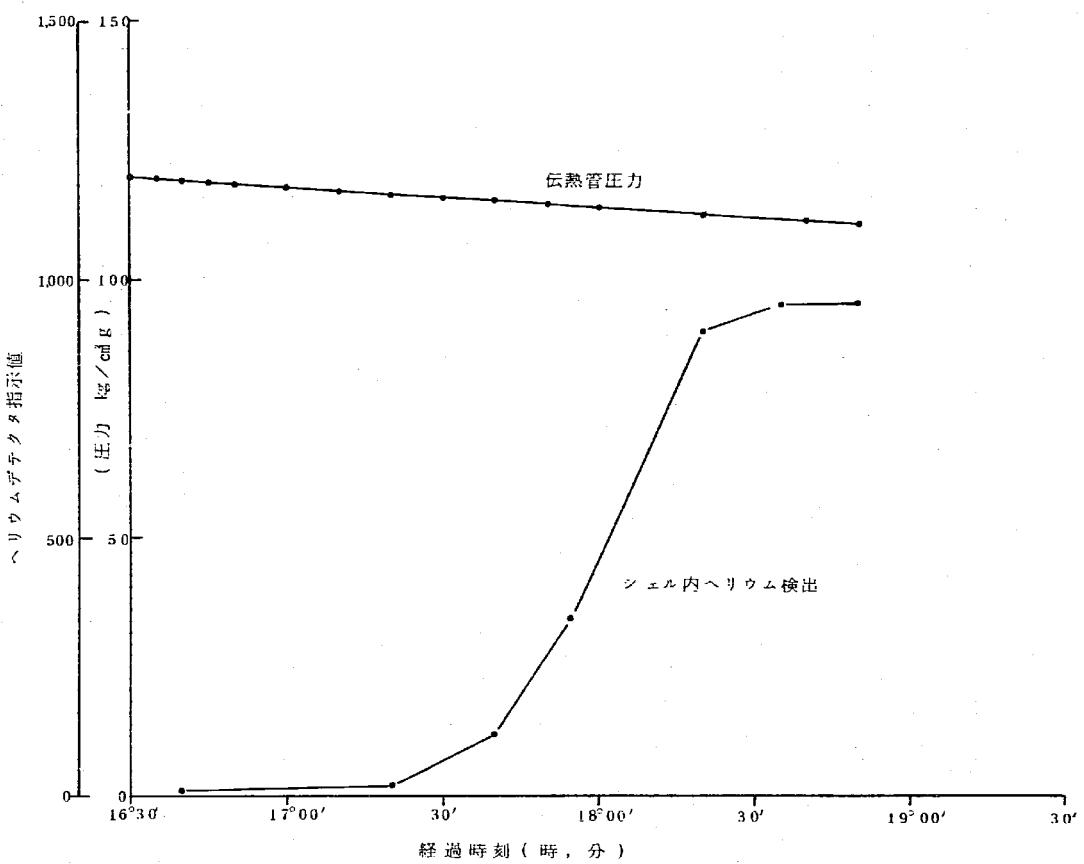


図4-3 欠陥伝熱管(A管)のリーク試験(第2段階)

をも、リーグ側所がダウソングラムの熱しゃへい管内であるなら、そのガス系においてヘリウム検出した方が、SGI本体のガス系にて検出するより広くある。しかし、熱しゃへい管側は、サムデテクタを2台用意し、同時測定をところみた。しかし、熱しゃへい管側は、サンブルラインの途中で漏露があり測定できなかつた。

第3段階として、これまでの試験でA管がリーグしていると判断されたので、この管についてダウソングラムかコイル部（ライザ一部）かを確認することになつた。ダウソングラム熱しゃへい管ガス層とSGIカバーガス層を隔離するためNaがチャージされた。そのため、ダウソングラム熱しゃへい管よりガスをサンプリングする際は、SGI本体のカバーガス圧と熱しゃへい管内のガス圧差に注意する必要があつた。

この様にして前回同様の伝熱管側のヘリウムガスの圧力低下やシェル側でのSGIカバーガス及び熱しゃへい管内のヘリウム検出が行なわれた。

なお、本試験に入る前に、前日試験で漏露があつた、熱しゃへい管内のガス系の塞まりを回復させたことはもとより、Naチャーシュに高さ方向の欠陥位置の確認が可能かも知れないということで、音響検知器をSGI外胴に取付け、欠陥部をNaが通過する際、発するであろう発泡音の検出をところみた。その結果は、それらしいノイズレベルが感知されたが、他のノイズより分離することはできなかつた。

図44は、欠陥のある伝熱管（A管）について、ヘリウム加圧後の圧力の低下やSGIカバーガスと熱しゃへい管内の差圧変化、さらに各々のヘリウム検出した経過について示した。

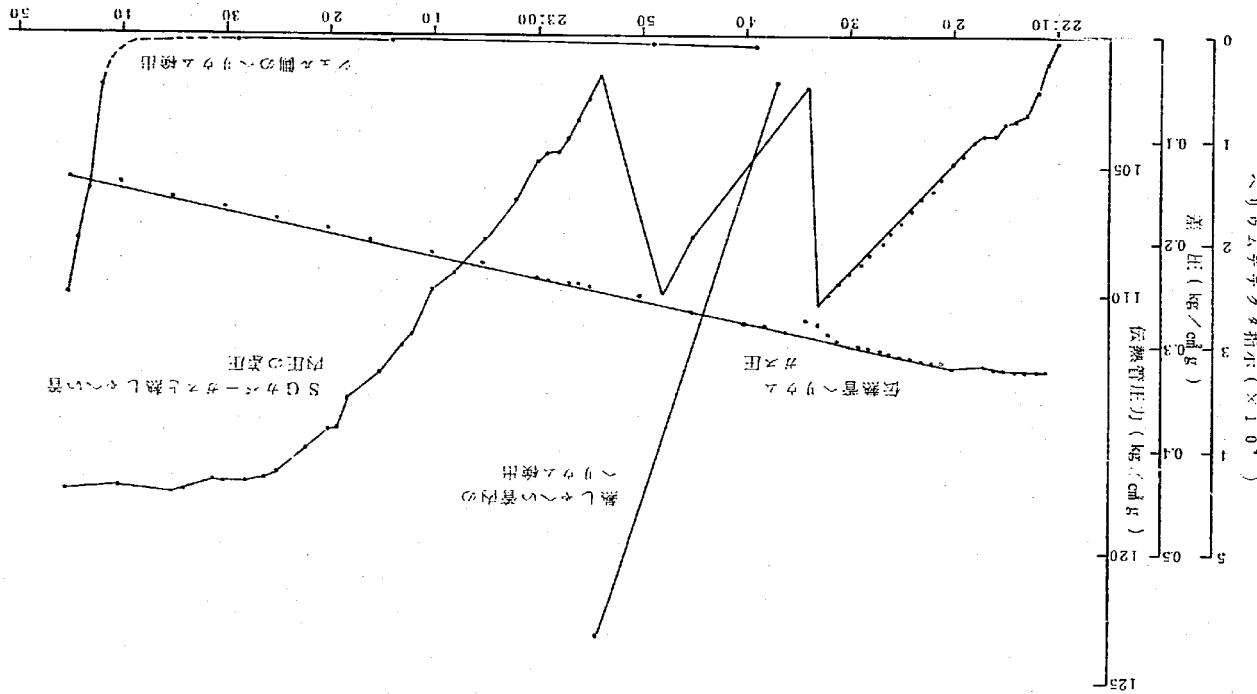
これによると熱しゃへい管内のガスをサンプリングするには、約0.2 kg/cm²程度の差圧が必要であったことがわかる。これは、ガスサンプリングを図5のダウンカマがス放出ラインの減圧弁の後方側で行なつたためであつた。しかし、ヘリウム加圧40分経過時のデータは最初のバックグラウンド自盛の5×28より80×104ドットである。

また、伝熱管内圧も11.3 kg/cm²から11.0 kg/cm²に低下している。しかし、殆んど同時に測定された、SGIカバーガス中のヘリウム検知は初期のバックグラウンドである。

これで一度ダウンカマの熱しゃへい管内にリーグありと再確認されたが、さらに音響検出を続けるため熱しゃへい管内のNaレベルを上下した後、熱しゃへい管内のガスを下端部より吹き出すようにしたら、SGIカバーガス中にヘリウムが感知され始め

(N₂排気止水栓開放)

図44 热しゃへい管内ガス層のNa濃度（A管）



これより A 管のダウンカム熱しやへい管内にリーグがあつたことは間違いない事実となつた。

4.3 解体検査

第 2 回リーグの欠陥は、前節のリーグ漏認試験によりダウンカムの熱しやへい管内であることが判別した。したがつて、第 1 回同様 S H 窓にて、補修が可能であるとの判断から、前回と同じ様な手順で、まず解体検査されことになつた。

1) 管束引抜き時の観察

管束引抜きは、前回同様、耐熱ビニール覆いを用いて、不活性ガス気を作り、その中で行なわれた。ただし、不活性シールガスとしては、これまでの経験を活かし、空素ガスを用いることにした。

写真 15 は、管束引抜が開始されて、一番最初に剥離される部分である内部シラウド上部、平板部、平板部で、大きな Na の塊よりがみられている。これらの Na 塊は補修作業に用ひられ、それ以前にきれいに取り除られた。

写真 16 は、管束をさらに引抜いた状態で観察された部分で、第 1 回リーグのとき引抜かれたときは非常に異なった様模を呈している。過酸化ナトリウムのようないわゆる黄色体をおびた（見方によってはクリーム色の様な）ふわふわした感じの陽子灰付着物であった。これは、写真 17 にみられるように、分離シラウドの高温領域側（全体の約 3 分の 2 ）に広がつており、低温領域での付着は写真 18 の如く比較的少なかつたようである。

また問題の熱しやへい管の下端は、リーグのあつた A 管側に反応性試験の付着がみられず、むしろ、健全管であった下管側に写真 19 にみられるようく水蒸気と Na の反応の跡がみられた。これは、欠離部の解体のところであきらかにされるが、伝熱管に取付けられた熱しやへい管の振れ止め金具が、A 管の方が 2 個多く付いていることに原因があるようである。すなわち、A 管でリーグした水蒸気は、A・F 管共通の給排気用ガス連絡管を通して P 管へ流れていたものと考えられる。

写真 20 は、下部胴体（シェル）のフランジ部及び内面の Na 付着状態を観察したものであるが、フランジシールのリングが再使用品であったため、シール

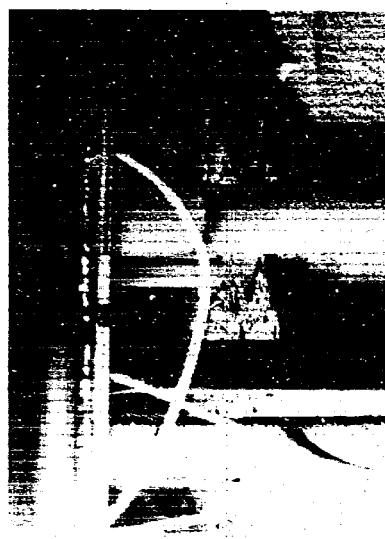


写真 15 内部シラウドカバーガス管部に Na の塊よりが見られる



PJU COLOR CD 6

写真 16 カバーガス層近傍の分離シラウド外面に見られる
独特な不純物の付着



写真 17 管束底部に不純物の付着が見られる



写真 18 管束底部（低温部）では高温側とは違つた
不純物の付着が見られる

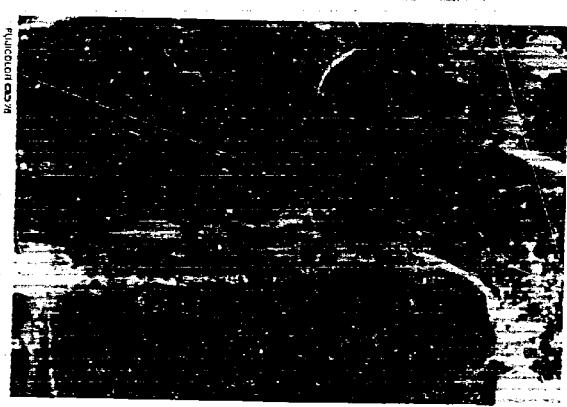


写真 19 健全管側熱連通管下端に見られる Na水反応跡



写真 20 下部胴体フランジおよび内部胴のNa付着状況

が完全でなく、多少リップ部にNaの侵入がみられた程度で、特に変わったことはなかった。

2) 管束引抜き時のリーグ試験

これまでの試験で2本の通水管のうちA管のダウンカマ側にリーグがあることが確認となつた。しかし、次の様な点で、多少不確定要素もあるので、これらを再び確認するため管束引抜き状態で、ヘリウム漏洩試験を行なうことになった。

不確定要素の一つとしては、右図のように、
A管とF管の熱しやへい管へのアルゴンガス給排気管が共通のため、しゃへい管内でヘリウム検出されても、どちらの管からリーグしたのか判らない。また、熱しやへい管内やそのガス系統で、反応生成物による閉塞があるらしいこと、さらには、ダウンカマにて数個所の溶接線があるなどを考慮して、熱しやへい管の共通ガス排気ラインを切断して、A・F管別個Cヘリウムを加圧して、右図A～Eの位置にてヘリウム検査を行なうこととした。

その結果は次表に示した通りである。

伝燃管名称	測定箇所	A	B	C	D	E
A 管	なし	なし	有 横	有(大)	なし	
F 管	なし	なし	有 横	有(小)	なし	

8) ダウンカマ、熱しやへい管の切断

前項の試験により、A管側の熱しやへい管内ダウンカマに欠陥があり、F管側には何ら欠陥がないことがわかつた。欠陥の生じた原因是欠陥部を解体しても、欠陥のないF管についてもA管同様の改造補修が必要ないと予想されるが、いずれにしても欠陥のないF管についてもA管側の改造補修が必要であり、また万一F管にも欠陥があり、それがNaによって塞がれているということも考えられたので、本体の管束部より切り取り、欠陥検査されることになった。

ダウンカマおよび熱しやへい管は一体とされた形で取外すことになり、写真21と22にみられるように、ダウンカマの上部側と下部側をそれぞれビニール外に露出させ、管束部は室素雰囲気を保ちながら切断された。

このようにして切り取られたダウンカマ部A・F管は直ちにNa洗浄室に持ち込まれ、熱しやへい管の取外しが行なわれたが、難しあへいを1体のまま伝燃管



写真21 ダウンカマ上部切断位置

これによると、リーグ箇所は間違いなくA管側の熱しやへい管内であり、また熱しやへい管の内部はNa反応物で閉塞していることがわかつた。

一方、健全管とされていたF管側でも、C、D箇所に、わずかであるがヘリウムが検出された。これは、これまでのヘリウム試験でA管側に漏れたヘリウムが



写真2-2 ダンカンカマ下端の切断位置

上り引抜くことは不可能であった。

そこで、写真2-3に示したように、熱しゃへい管をある長さに短く切り、この状態で引抜くことを試みられたが、やはり抜けず結局2つに被割りして取り除かれた。ここで、写真2-3の下側の熱しゃへい管はA管の最上部の伝熱管管れ止め具が取付けられていた近傍のもので、第1回リーコク時の欠陥近傍にみられるような赤緋びがみられている。しかし、ウェスチークは起つてないようであった。

写真の上側(A-3-2と記されたもの)は、やはりA管で上から2番目の振れ止め金具近傍のもので、Naの反応生成物らしいものが大分付着しており、先のヘリツム試験で熱しゃへい管下端よりヘリツムが検出できなかつたのは、この辺に原因があつたものと思われた。

写真2-4は、バルブエレックにて確認された漏洩箇所でA管剥離上部の振れ止め金具のミ内接部である。この欠陥部を撮写してみたが、写真2-5で、妙な穴が4ヶほど並び、それと密接に沿つたクラックがみられる。

後の検査で確認されているが、妙なピンホールは内部まで達しておらず、どういものであつたらしい。

写真4-5は、これまでの觸線によって判つた結果を図示したものであるが、これは次の様な事を示唆するものである。

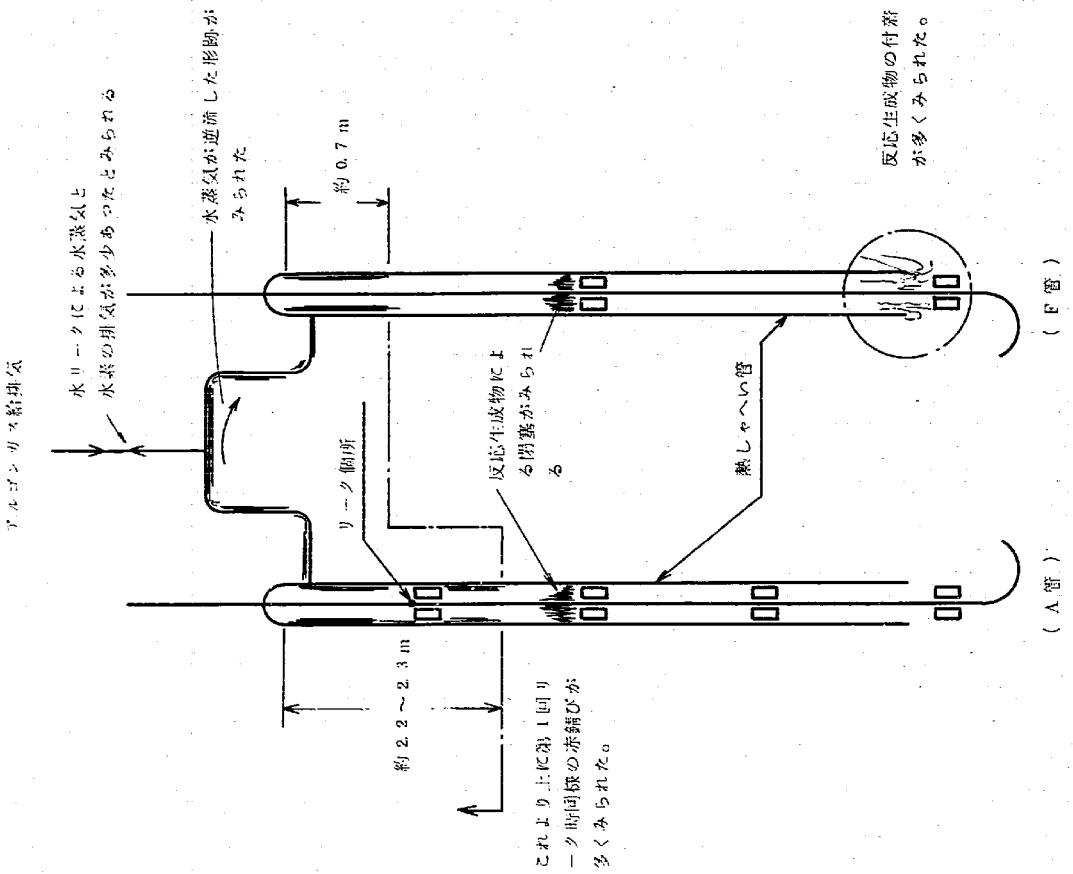


図4-5 热しゃへい管解体検査時の観察結果

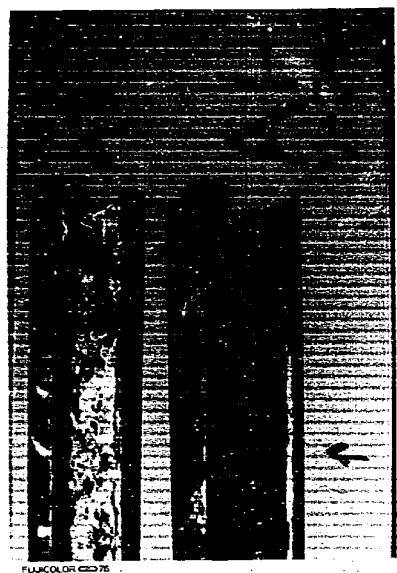


写真23 热遮蔽管(欠陥部と健全部に相当する)を二つ割りして内部を見た。

- (1) 欠陥はA管の最も上位振れ止め金具の上側ミ内溶接部であった。
- (2) F管振れ止め金具は、すでに図4に示したよどみF管側2ヶ、A管側4ヶであり、このうちいずれの最下端金具も第1回リーグ補修時に熱しやへい管を短くしたため、フリーになつている。
- (3) 伝熱管振れ止め金具には、図3(b)にみられたように、ガスあるいはN₂の流通孔があけられているが、これらの孔はN₂反応生成物によりA管は上から2番目で、F管は上側の振れ止め金具で閉塞していた。しかし、F管側ではA管側に比べて完全な閉塞状態ではなかつたようである。
- (4) A・F熱しやへい管の連絡ガス管により、A管にてリークした水蒸気がF管へ逆流したことによつて生じたとみられる赤錆びがF管の上部約1m位に付着していた。
- (5) A管よりF管へ逆流した水蒸気によつて、F管の熱しやへい管下端には、すでに写真19であきらかにしたような反応生成物の付着が起つたと考えられる。
- (6) ダウンカマ撤去後の管東部健全性試験
昭和48年1月5日～1月7日にかけて、次図の如く、ダウンカマの取去られた後の給水入口管および、蒸気出口管を含む伝熱管コイルの健全性試験が行



写真24 欠陥部のバブルテック

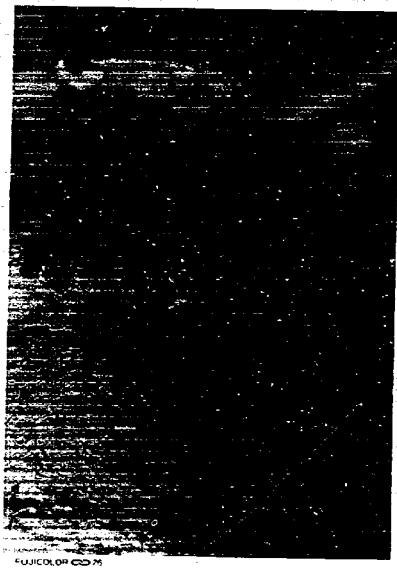


写真25 欠陥部の接写

なわれた。

試験は、管端が引抜かれた状態で、まず、盲溶接部にリーケークがないことをヘリウム検査で確認し、その後、シエルに挿入し伝熱管全体の漏洩の有無をヘリウム検査および、圧力低下によって確める方法がとられた。

ただし、圧力低下は、図でもわかるよう蒸気側に圧力計が付いていたことと、バルブにリーケークがあつたことで確かな手掛りとはならなかつた。例えば、バルブのリーケークは約5.0 kg/cm²に加圧したヘリウムが1日放置後、2.0～3.0 kg/cm²まで低下する程度であった。しかし、このときのヘリウムデテクタは、バッカランド（最高感度レンジ5で3.0～4.0前後の振れ）に多少変動がみられた程度で、ヘリウムの検出はなかつた。

また、シエル上部の接点式レベル計を抜き取ったノズルより行なつたが、どこにかんがみ、シエルのときと同じ部と同様、ヘリウムは感知されなかつた。盲溶接部のときと同じく、ヘリウムは感知されなかつた。

以上により先に取りられた、タンカマ、熱しゃい管内の欠陥以外は問題がないことが確認された。

4.4 原因究明と対策

欠陥部採取片は、第1回リーケーク時と同様、原因究明のためメーカーが持ち帰り、各種試験を行なつた。以下、その結果を利用しながら、原因と対策について述べた。

(1) 原因究明

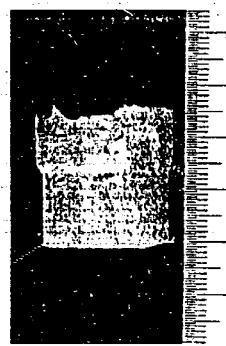
第1回リーケーク時と同様の検査が行なわれ、次の様な結果が得られた。

(a) 液体検透探査候五

管外表面および管内表面の液体検透探査検査（カラーチェック）結果は、写真26に示した様に、管外表面(a)で密着線に沿つて、長さ9.5 mmの範囲に管内表面(b)では、1 mm以下のインジケーションが確認された。

(b) 硬度試験

図46に硬度分布の測定結果を示した。測定はピッカース硬度計により、図47の深さと位置方向等で行なわれた。また健全品との比較測定により、欠陥部が特に硬度が高かつたことがわかつた。しかし、いずれにしても第1回リーケーク時同様、溶着金属部の、しかもクラックの生じた部分の硬度は、母材の2倍以上であつたことがわかつた。

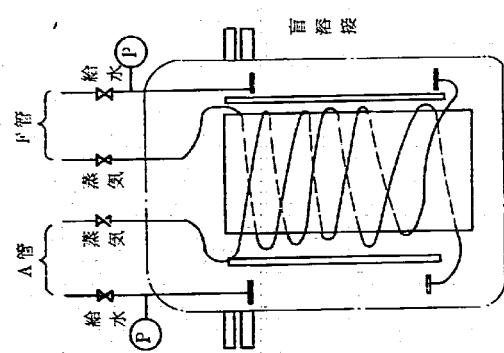


(a) 管外表面カラーチェック



(b) 管内表面カラーチェック

写真26 欠陥部内外面のカラーチェック結果



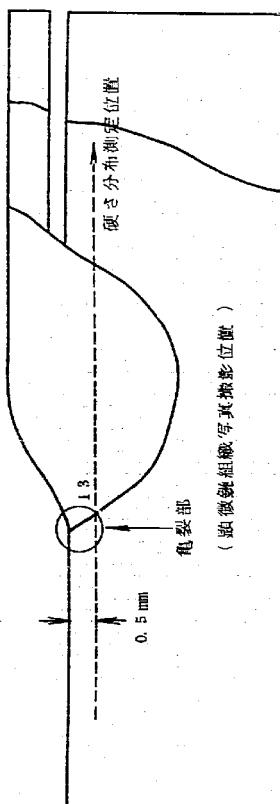


図 4.7 硬さ分布および写真撮影位置説明図

(c) 顕微鏡検査

写真2.7は、図4.7の溶接欠陥部近傍領域のマクロ拡大写真（倍率×10）を示したもので、熱影響部や接合部が、明瞭に判別できる。さらに、写真2.8は、倍率×100の顕微鏡組織写真を示したもので、クラックが外面より内部に向って進行している様がわかる。

以上の検査結果と、これまでの運転経過などから破損原因について考察してみると、まずクラックの開始点は、顕微鏡写真からみて、管外表面（N a側）の溶接部である。



写真2.7 欠陥部近傍のマクロ拡大写真

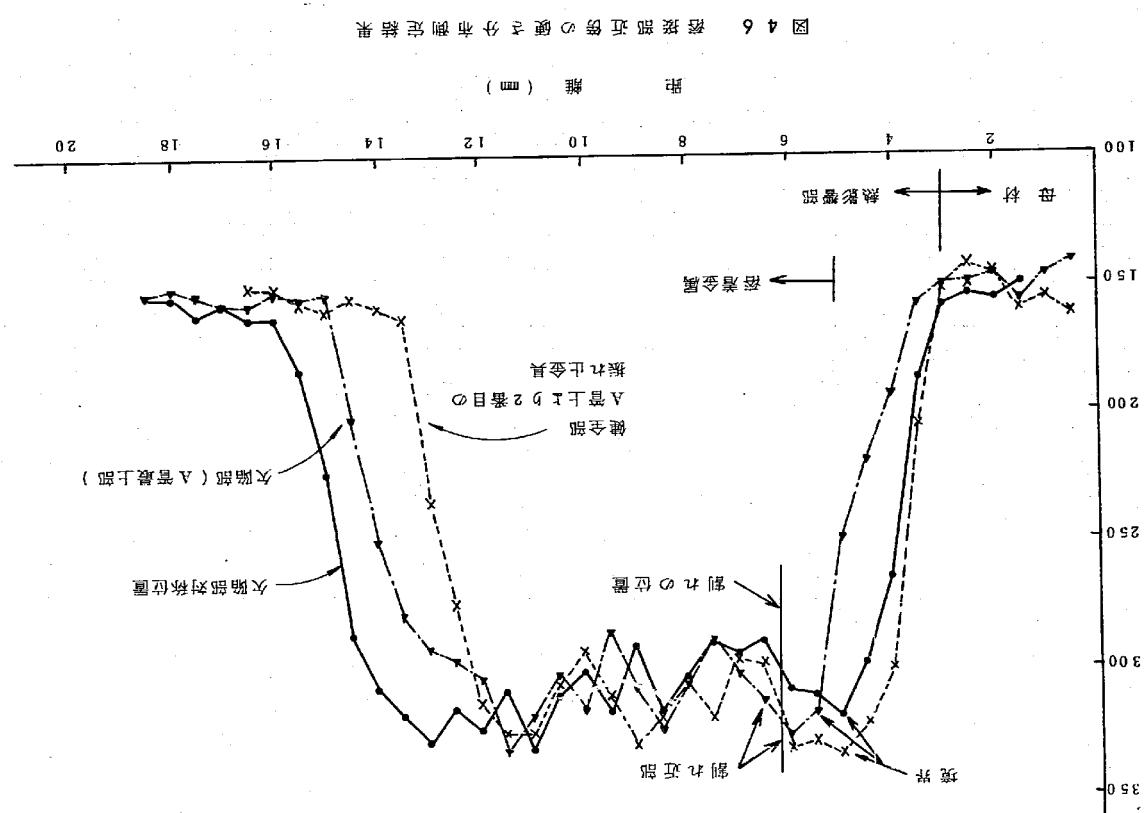


図 4.6 溶接部近傍の温度変化曲線

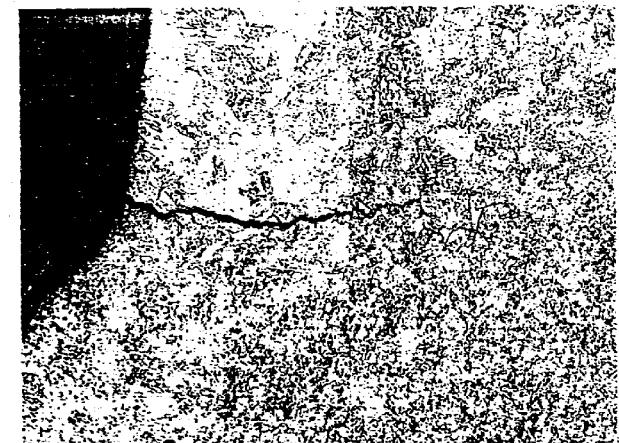


写真 2-8 倒壊部の顕微鏡写真

接境界付近より発生しているようであるが、粒界か粒内かは腐食のため明瞭でない。しかし、その近傍で粒界割れが支配的である様に見受け PNC TN941 76-54 割れは幅の非常に狭いもので、粒界を経路とし末端は粒内を貫いて、管内面に達しているようであった。

なお、割れの近傍では、単純な塑性伸びは見られないようである。また、割れの発生している溶接止端部における硬度は、第 1 回リーカ時検査結果同様、母材の 2 倍以上あり、これから残留応力も比較的高かつたものと思われた。さら

に第 1 回リーカの補修の際、NaOH 潤解してできた水酸化ナトリウム (NaOH) は、構造的に完全な洗浄が行なわれず、このアルカリによる応力腐食割れが考えられるとともに、これら不純物によって伝熱管の振れ止め金具と熱しやへい管に固着が起り、スライド性を阻害し、これら静的荷重も比較的大きかつたと予想さ

4.5 補修工事

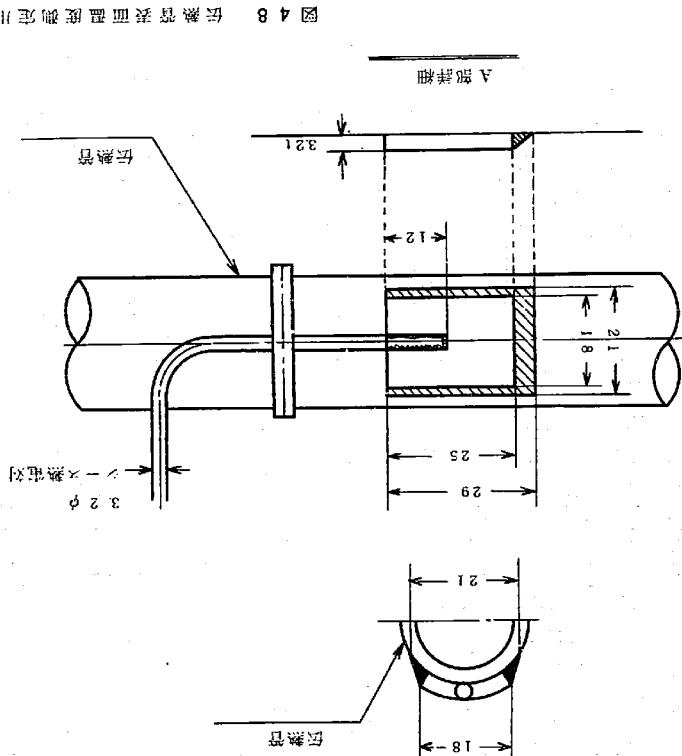
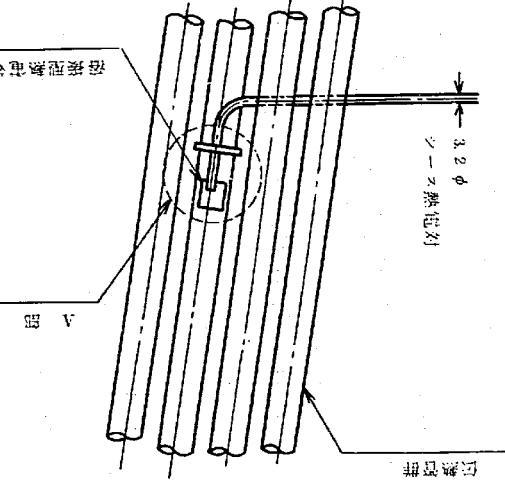
今回の補修作業は、前回リーカ補修時のような NaOH の潤解を極力避けるため、現地作業日数をできるだけ少くなるよう工夫された。すなわち、補修部品は図 4-9 に示したように、工場にて 1 体に組立 (品番 1~7 を溶接で組立) られた状態で現地に持ち込み、現地では熱しやへい管の付いたダンカンカマの上、下 2ヶ所 (X, X') とガス

れるなど削れを起す要因が重なり合って、クラックに至らしめたものと考えられた。

(2) 対策

前述の原因をもとに次の様な対策が考えられた。ただし、構造など具体的内容については、補修工事のところ述べた。

- (a) 伝熱管振れ止め金具のところの NaOH ドレン性をよくするとともに、スライド性を増す構造とする。
- (b) 伝熱管振れ止め金具は伝熱管に溶接しない構造とする。
- (c) 振れ止め金具の数を減らすことにする。ナトリウムの流れによって生ずるであろう伝熱管の励振々動数と伝熱管のサポート位置によつて決まる固有振動数を考慮して共振の起らない 2ヶ所とした。計算結果によれば、ダンカンカマ下端の励振数 0.15 Hz サポート 2ヶ所による。固有振動数は 4.2 Hz であった。
- (d) クロモリ材溶接部は、すべて焼純をすることにした。1.2 回リーカとともにそうであったが、クラックの発生した溶接箇所は、いずれも SG 製作メーカーの社内基準 (電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令、第 2-8 条およびクリープ強度上や、当時の応力腐食に関する技術が未知であった。) などにより焼純不要とされていた。
- (e) 热遮蔽管のサポート金具は第 1 回リーカ補修の取付のとき問題となつたスライド性を、さらによくするため改修することにした。なお、今回これら対策を施こした後でも、ヘリカル部伝熱管には、図 4-8 の様な表面温度測定用熱電対がバッド方式でスミ内溶接されており、クラック発生の危険性が残されているが、コイル部でもあり補修が困難なため、いまのままで、他の補修作業が進むされることになつた。



呼吸管取付部 1ヶ所 (Y) の都合 3ヶ所を併用すればよいただけであった。

- これら、ダウンカーブと熱しやへい管の 1体部品の生な改良点は次の通りである：
- (1) フリッドヘッドは、図 49A 領ひよりに(前回同様)鍛造品よりの 1体削り出し構造とした。
 - (2) 热しやへい管内の温度測定用熱電対はB部詳細図のように、スリーブによる取付とした。
 - (3) ダウンカーブと熱しやへい管のスベーザ(伝熱管振止め金具)はC部詳細図に示した様に、Na のドレンをよくするためコーン形状にて、熱しやへい管の長手方向 2ヶ所で 3本のガルトによりネジ止めするようにした。

- (4) 热しやへい管の材質を、これまでのクロモリ材からステンレス鋼(SUS-304)に変更した。伸び率の大きいステンレスを用いることは、スライド性の観点から多少疑問がもたらされたが、溶接性の重視から採用された。これに伴い熱迷へい管の長手方向 4ヶ所に挿入された熱電対の取付スリーブも同材質として採用をよしくした。

また、クロモリ製のフリードヘッドと、ステンレス製熱迷へい管の間には異材接合として、インコネル内盛りと焼純を施こしたクロモリの短管を入れ、その後にて SUS-304 の熱迷へい管と溶接するようとした。ただし、熱しやへい管となるステンレス鋼管には、長尺物がなかったため、異材接合部以外に 1ヶ所接合部ができた。このため、その芯出しへは大分苦労されたようである。このようにして作られた 1体品は昭和 49 年 1月 21 日に現地に持ち込まれ、翌 2 のよしな半周で SG 本体に接合された。2月 3 日には、写真 29 にみられるように熱しやへい管のガス呼吸音やサボート金具の取付が完了した。

サポート金具は図 50 に示した様に、取付面が以前の様に平面ではなく、分離ショットの曲率を考慮して作られた。

このサポート金具の取付によって、SG 本体の補修は終り、後は管束をシェルに收めて SG 壁の配管系を修復すれば、工事完了となるのであるが、管束には写真 17 でみられたような不純物の付着がひどかった。この不純物が何であるかはあきらかでないが、いずれにしてもあまり好ましいものではないと考えた。また幸い湿度の小さい時期でもあつたなどから、ビニール膜の外し、写真 30 に示したように分離ショット表面に付着していた不純物をブラシシングによりきれいに落した。

表 7 ダウンカーブ遮蔽管取付手順

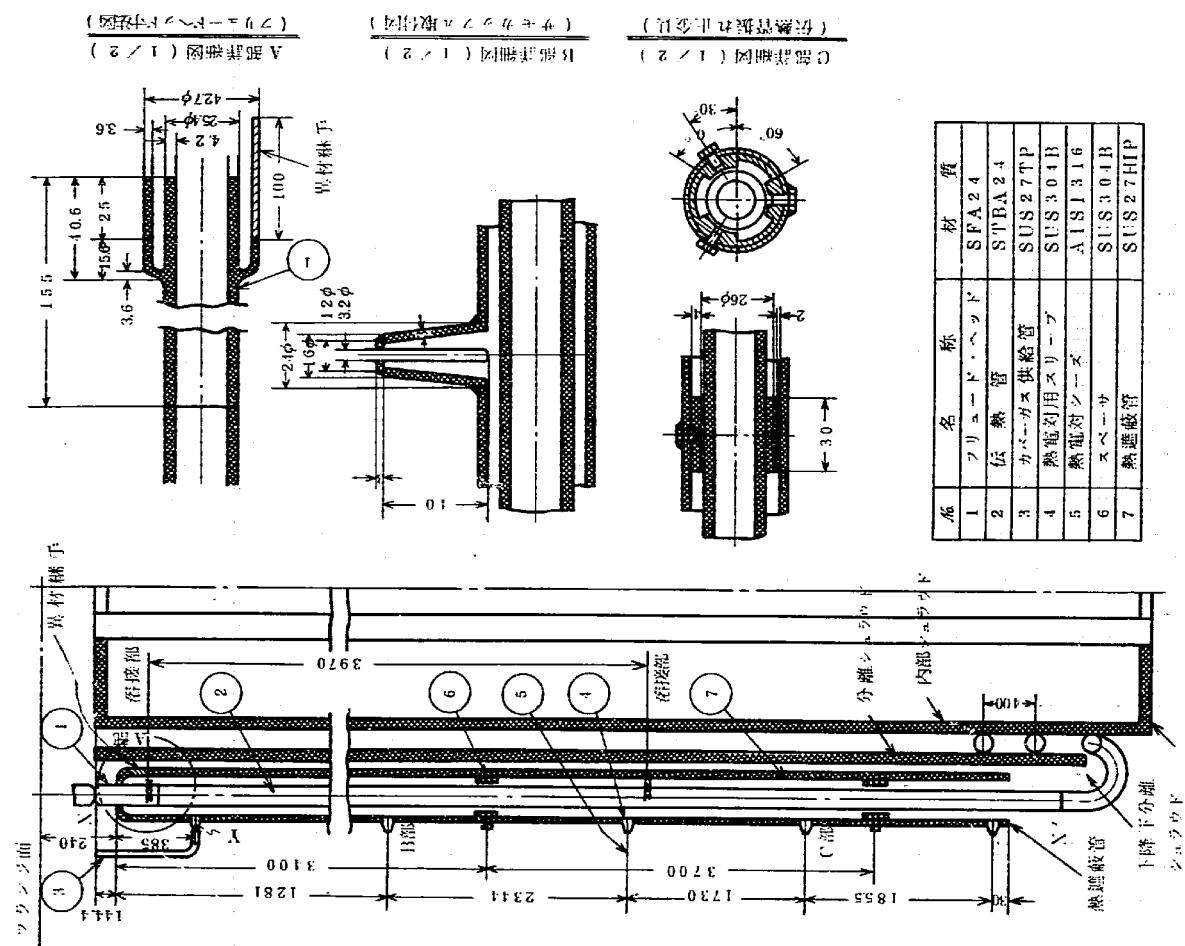
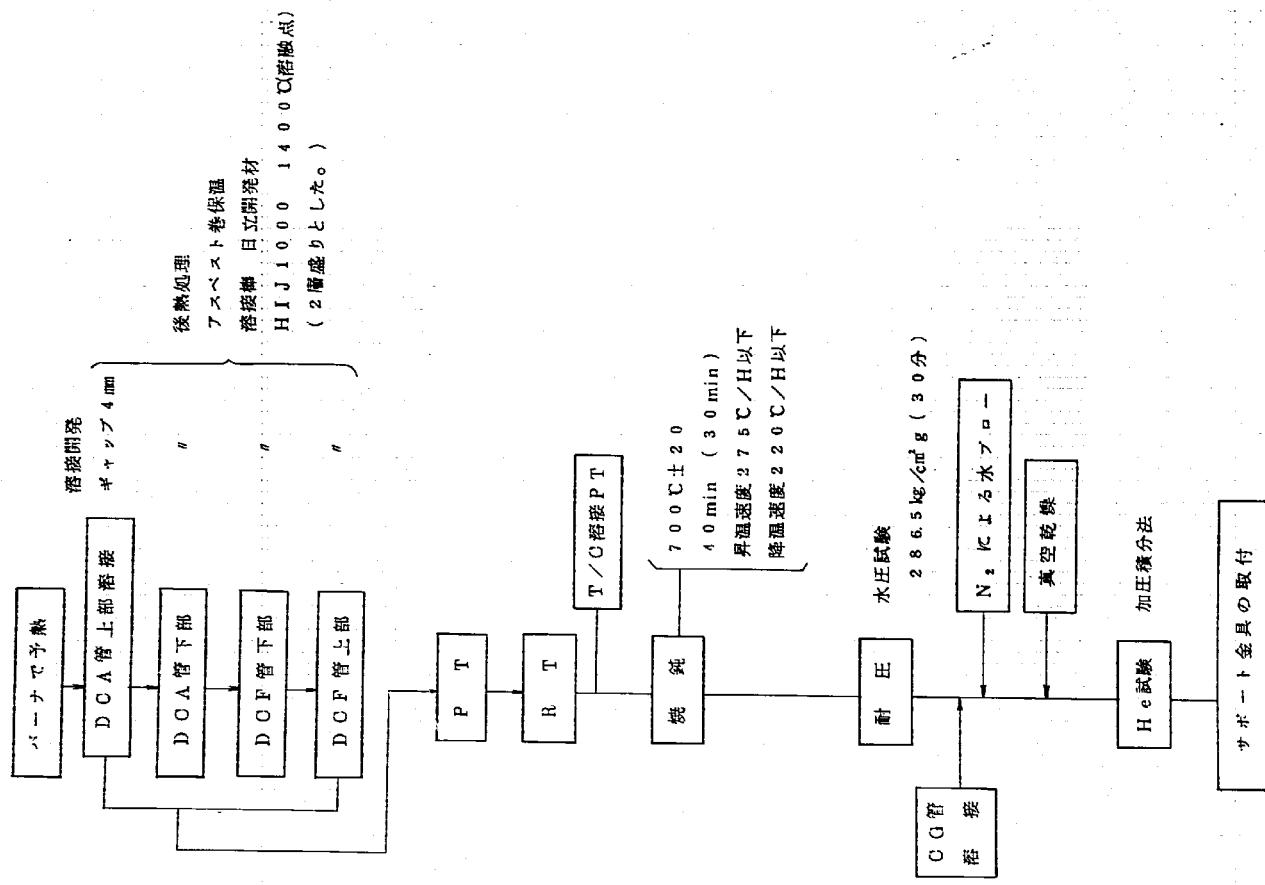


図 4-9 ダウンカーブ遮蔽管取付詳細図



写真29 熱遮蔽管のガス供給管とサポート金具の取付状況

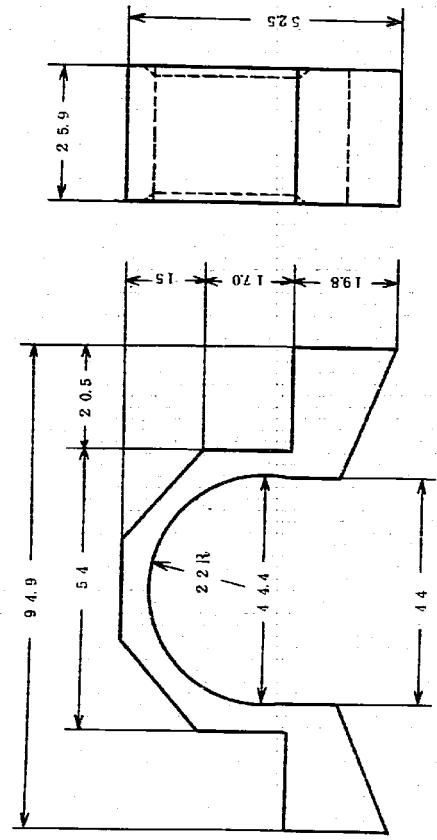


図50 熱遮へい骨のサポート金具寸法図

また、これまでの2回のリーカー事故のうち、特に2回目のものは、アルカリによる応力腐食が原因していたと考えられており、この応力腐食に関するデータを得る目的で、写真31に示したよウナ水酸化ナトリウムを密接部に塗付したテストピースをSG本体の図51のようない位置に取付けた。

これら、テストピースは次項の運転終了後、SG本体の構造材とともに、現在、材料試験が行なわれており、後日報告される予定になっている。
以上の様な経過をたどりながら、SG本体廻りの工事は、予熱試験も含めて2月20日に終了した。

4.6 换修後のSG運転経過

これまで述べたように、1MW復元(2次)SGは構造面のまげさから2回のリーカーとその補修によってNaの漏洩が起るなど、材料の面で興味ある経歴をもつことになった。

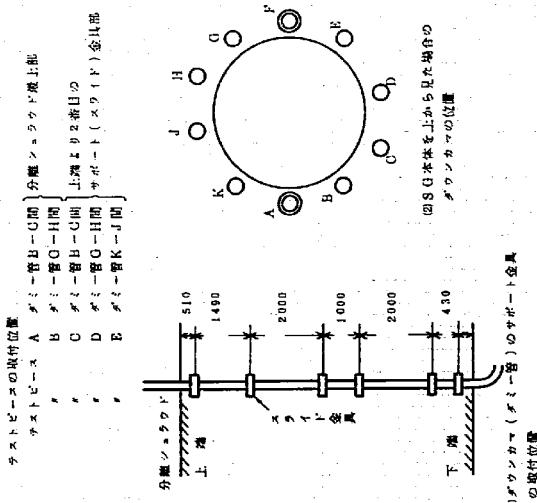
このSGにおいて、その後の運転経過をあきらかにしておくことは、材料の腐食や脱炭現象を究明する上でも有用であり、特にNa温度とその運転時間は重要な因子と考えられるため、それらの経過について述べた。



写真30 初等な付着物がラッシャングされた後



写真3-1 応力腐食割れ試験用テストピース

(a) ガラス管 (デミ一管) のサポー金具
の取付位置
(b) ガラス管を止める金具

2回目リーケ修復後の SG は昭和 49年 3月 2日に補修後初めて Na がチャージされて以来、断続的ではあるが、翌年 6月 11日の運転完了までの間に延べ 7716 時間の運転試験が行なわれた。

3月 2日以降の運転は 6月末の運転停止に至るまでの間の途中、一度給水ポンプの故障で止まつた以外は順調に行なわれ、各種伝熱性試験（静特性、動特性、最低負荷試験、不安定流動試験など）が行なわれた。

しかし、7月には、1MW SG 室と隣接して建設されていた 5.0MW 1号 SG が 6ヶ月のメーカー調整試運転を終り動燃に引き渡され、本格運転に入ることになつた。これに伴い SG 運転係員である 1MW SG 室の運転員は全員が 5.0MW にシフトされ、この SG 1号機を静力的に運転試験することになった。このため 7月以降の 1MW SG における Na と水蒸気の共存での伝熱流動試験は 5.0MW 施設の定期点検時期である同年の 9月から 10月にかけてと、翌 50 年の 5月から 6月にかけての約 2ヶ月だけであった。

なお、昭和 49年 10月までの運転時間は、SG 構造材 ($2\frac{1}{4}$ Cr - 1Mo) の脱炭上問題となるとされている Na 温度 450°C 以上の運転で 2800 時間程度であった。

この運転時間は、1MW の 1次（復元前）SG においてすでに実績があつたこと、また、材料の評価上特に照射線にさらされた構造材を長期間実績を積むといふ点から考えると、まだまだ少ないものであつたと判断された。

そこで、大洗工学センターの各 Na 施設において、運転実績をもつ常陽産業（株）Na 系のみの運転委託することにした。

この運転は、昭和 50 年 1月から 5 月にかけて行なわれた。その後 5 月から 6 月はすでに済べたようだ、5.0MW 施設の定期点検時期であったため、本 SG として最後の伝熱性試験が行なわれた。

表 B-1 これら運転時間と温度の関係を水リード以前の実績も含めて示した。その後、本 SG は次期試験計画予定の不安定現象試験装置の建設のため、7月から 8 月にかけて解体撤去された。

これまでの運転試験の集約とも考えられる材料研究所等に委託し、現在、解体撤去された SG 材を SG 製作メーカーや材料研究所等に委託し、結果を待つばかりとなつている。

図 5-1 テストピースの取付位置図

5. 考察

表8 第2次(復元)SGの運転時間

N a 運 転 溫 度			
	$< 300^{\circ}\text{C}$	$300 \sim 450^{\circ}\text{C}$	$> 450^{\circ}\text{C}$
第2回水リーカ以前	1586 時間	523 時間	38 時間
(Na純化運転)			
Na-水共存	807	696	3623
Naのみ	193	31	2366
合計	2586	1250	6027
全運転時間	9863 hr		

昭和48年3月27日のコールドトラップのNaリーカより始まって4月11日の第1回伝熱管水リーカと8月24日の隔壁水集計のニッケルセメントのNaリーカ、さらば、11月19日に第2回水リーカとNa系に2件、Naと接する水蒸気系(伝熱管)に2件とこの1年間にリーカ事故が相ついで起つた。これらの間には、すでにあきらかにしたように、何か相関關係があるが、具体的には明確になつてない。しかし、これらによる不純物の増加は今後のSG開発上重要な課題を握つてゐるであろうことがわかつた。

例えば、将来の「もんじゅ」SGなどにおいては、伝熱管リーカの場合、管内ガス接など補修面で、これまでと異なった方法が講じられると予想されるが、いずれにしても水リーカによる不純物の増加は避けられないであろかし、また、リーカ箇所の検出法などあきらかにしておかなければならぬことが沢山ある。そこでここでは、2回の伝熱管リーカによって、示唆された問題点と今後さらにSG開発上密接な関係をもつと想された次の様な項目について検討を試みた。

すなわち、Na-水反応の早期検出用として付設している。

(1) 水保険検出器についての評価

また、今回の水リーカはいずれも開内密接部の熱影響部へのクラックであり、その主な原因が強度の大きさしたこと、これら熱影響部が起始時の腐蝕応力とそれら何らかの原因での応力集中による弱れと判断されているなど、これら集中応力が構造的による影響があると考え

四 破壊部の構造的検討

破壊部の補修には多かれ少なかれ、水酸化ナトリウムと接する機会があるが、特に第2回の伝熱管リーカのように第1回リーカ部の基板によりNaが完全溶解し、その液が除去できないよう場所では、かなり問題になるであらうから

(2) Na漏洩部の構造に与える影響

特に応力集中の比較的大きいと考えられる密接部について考えてみた。

(3) リーカ事象が発生した場合は、その

(4) 伝熱管のリーカ検出法

(5) リーカ量(気泡)の推定

なども必要になる。

さらに、これら水リーケークにより Na と水とは、いろいろな化学反応現象が起るが、ここではプラギング計で観測される。

(6) ダブルブラック物質について検討

最後に、

(7) 1, 2回水リーケーク結果の統一的なものについて検討を試みた。

5.1 水隔膜検出器の評価

水隔膜の検出を目的として設置されている検出器は、隔膜式水素計とガスクロアであるが、この他に検出機能をもつものとして、すでに述べたように連続式プラギング計やカバーガスの圧力計、コールドトラップ流量計（プラギング計同様の閉塞現象による）およびリーケーク近傍に付設されている温度計などの機能を追加し得ない場合がある。前者はリーケークの規模やその位置関係により十分な機能を発揮し得ない場合があるので、やはり前者のリーケーク検出専用の検出器が重要となる。

なお、ガスクロアは測定感度がよく、標準ガスによる絶対値が測定可能など有利な反面、応答時間（ここでは分析時間3分）が遅いことと、分析カラムの定期交換や、サンプルラインの閉塞など保守上の問題がある。このため、水漏洩検出器としては応答が早く、比較的保守性のよい隔膜式水素計が本命とみられている現状である。

1 MW 複元（第2次）SG 施設に設置されている隔膜式水素計は試作品なものであつたが、2回の水リーケークにおいて正常に動作することが確認された。しかしながら、水素濃度は水素分圧（Torr）の形で空素ガスを基準にして目盛られた真空計に指示記録されるだけで、濃度標示とはなっておらず、計算値により後で換算する手法をとつていた。このため、測定精度や、絶対値などは定かでなかつた。

そこで、第1回水リーケーク時の Na の純化運転のとき測定された、水素計のイオンポンプ出力とそのときのプラギング温度との関係（図2.4）より水素濃度について検討してみた。

初めに、イオンポンプの出力と水素分圧の関係についてあきらかにしておくが、イオンポンプ（mV）と真空度の関係はポンプメータのカタログによると空素ガスにおいて図5.2の点線(1)であるとされている。しかし実際にイオンポンプ出力とその指示計との関係を調べてみたら点線(2)で示された通りであった。カタログの予想値と実際の

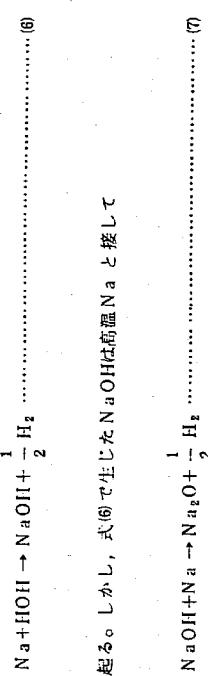
指標と多少の違ひはみられるが、ここでは実際の目盛値を正として水素ガスの感度補正（係数0.233）から、実験のようないオノポンプ出力と水素分圧特性を得た。また、第1回水リーケーク補修のときイオンポンプの近くに衝撃真空計が取付けられ、ポンプ出力と比較されているが、その実測値は○印で示された通りであった。これをイオンポンプ同様水素に換算（係数0.4）したのが一点鎖線で示されたものである。この様に本施設の真空計は、絶対値があきらかでないことはもとより、形式が異なるだけで指示値が大分違うことがわかった。水素分圧の絶対値を知るにはマクロドゲージ等で較正する必要があると考えられるが、ここでは前述の如く図5.2の実線で示される特性を正とした。

次に、アラグ温度と Na 中水素濃度との関係であるが、これは次の様な $\text{Na}-\text{水蒸気}$ 反応を経て、水素化物 (Na_xH) が比較的多く生成されるため、何らかの相関があるものと考えられる。

すなわち、 $\text{Na}-\text{水蒸気}$ 反応によって生成される不純物は一般に



と



の反応が起る。しかし、式(6)で生じた NaOH は高溫 Na と接して

の反応があり、特に Na 温度が NaOH の融点（318.14°C）以上で強烈に行われるといわれている。これらの反応によって生じた水素ガスは、 Na に溶解あるいは、反応しながら



のような可逆的反応により水素化ナトリウムが生成されるであろう。このようにして生成される Na_2O , NaOH , NaH などの生成割合は Na 温度や流動状態によって支配

され、一義的には決らないであろうが、次の例にも見られるように水素化物の生成は少なくなるものと考えられる。

	FERMI (米国)	NOAH (英國)
NaOH	7.6%	5.0%
Na ₂ O	1.9%	4.0%
NaH	5%	1.0%

そこで、これまでの検討をもとに図24の実測データを水素分圧とNa中水素濃度という関係で整理し、さらに図10で求めた計算値と比較してみたら、図53に示した様な結果となつた。ただし、Na中水素濃度は水素飽和溶解度曲線にプラグ温度を外挿し、また水素分圧は図52の実験値外挿して、それぞれ求めたものである。この図53のグラフで特に注目されるが、●の記号で添字1～3で印したプロットであろう。これは図25のNaの純化運転におけるNaチャージドレンの初期のもので、添字はその回数を示している。これらは計算値とよく一致しているが、次の理由から水素化物はプラグ温度に比べて、過飽和の状態にあつたのではないかと考えられる。

すなわち、第3、4章にて、Na純化運転の経過を述べたように、Na運転温度300℃に対してNaチャージ時のストレーナー・タンクの温度が低く抑えられていたため、この温度で溶け易い水素化物はその温度における飽和状態でNaがチャージされていたと考えられる。また他の不純物は、低い温度で溶けにくいため未飽和状態で、チャージされていたであろう。

そうなれば、チャージ計で測定されるプラグ温度は不純物の量的に少ないNaHなどは測定にからず、むしろ温度に対して、飽和溶解度の多いNa₂Oが、その温度として、測定されているものと考えられる。しかし、コールドトラップで十分純化され、測定されている場合は、それら不純物はコールドトラップの最低温度の飽和状態にあるものと考えられる。これをうらづけるものとして図24のプラグ温度とイオンポンプ出力(真空度)との関係でもプラグ温度の低いところでは、プラグ温度のバラッキは小さくなっている。

また図23の6回以降のNa純化では、ダブルプラグが制御され始めているが、これは高い方のプラグ温度の物質が溶けにくいいもので、Na温度が長時間にわたって高温に維持されて、はじめて溶け出したものと推測される。このダブルプラグ物質につ

水素分圧を空気自燃の真空計で読み取る場合の感度補正係数

イオンポンプの場合 0.233

電離真空計の場合 0.4

(いずれも取扱から引用)

NaOH 5.0%

Na₂O 4.0%

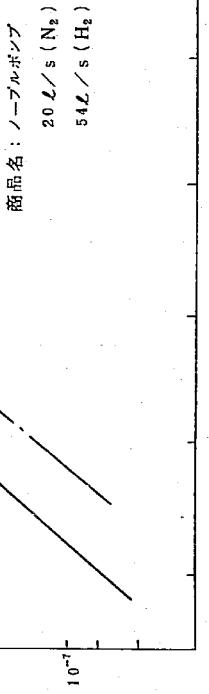
NaH 1.0%

10⁻⁵

水素分圧 (Torr)

水素濃度 (Torr)

10⁻⁶



イオンポンプ出力(mV)(デシベルにて測定)

図52 イオンポンプ出力(圧力)信号と真空間との関係

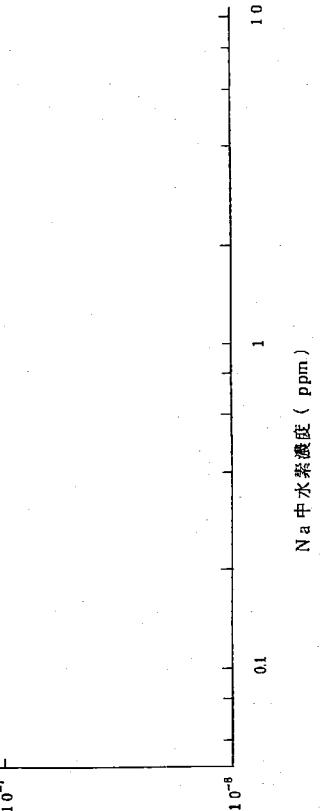
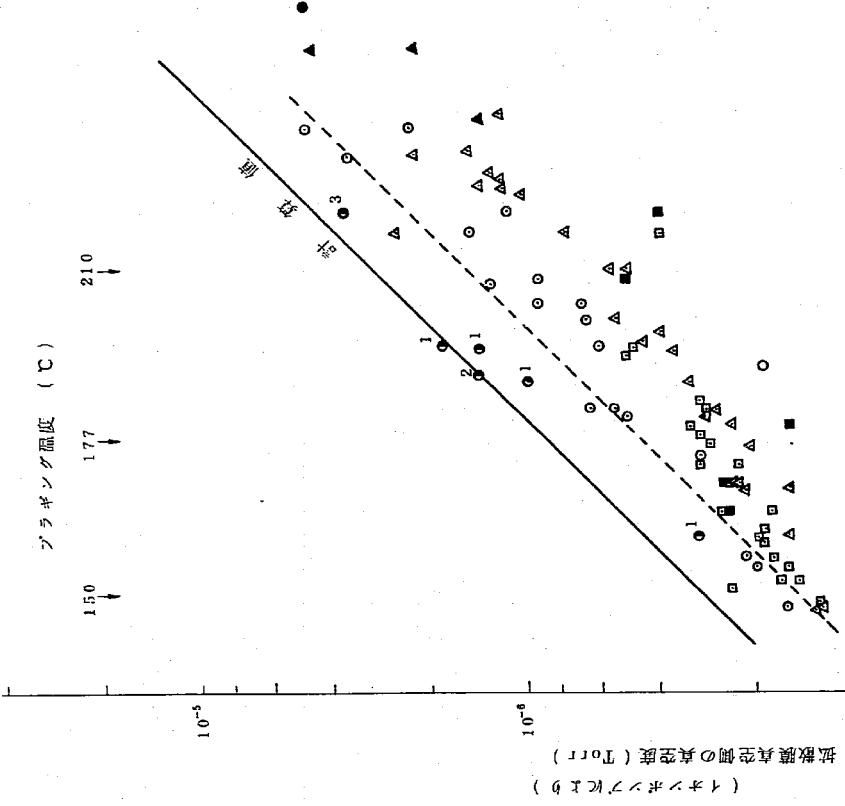


図 5.3 Na 中水蒸気濃度と隔膜式水蒸気計の真空度との関係
(ブラク温度と水蒸気飽和活潰度曲線上)

いては、第 4.6 章で検討している。

以上の考察からみて、ブラク温度から水蒸気濃度を求めるのは、コールドトラップで不純物濃度が十分制御されている時以外は無理なようである。しかし、いままでのいきまつから考えて、図 5.3 の点線および○印でプロットされたデーターは、液体 Na 中水蒸気濃度と隔膜膜の水蒸気分圧特性を表わしているものと思われる。これを水蒸気濃度と隔膜膜を知る換算グラフとして、推し上りできるのではないかと考える。しかし、計算値と実測値の差をどう説明するかという事になるが、これはすでに述べたように実測値において水蒸気分圧の絶対測定がなされていないことにによるほか、計算値において、イオンポンプの排気速度を小さく見積つている可能性がある。すなわち、本ポンプは図 5.4 に示したような排気特性をもつものであるが、これはあくまでも窒素ガスに対しての値であり、水蒸気ガスに対しては、これの約 2.7 倍になるとされている。したがって計算に用いた排気速度を 2.7 倍してやるとほぼ実測値(図 5.3 の点線で示した特性)と一致する。

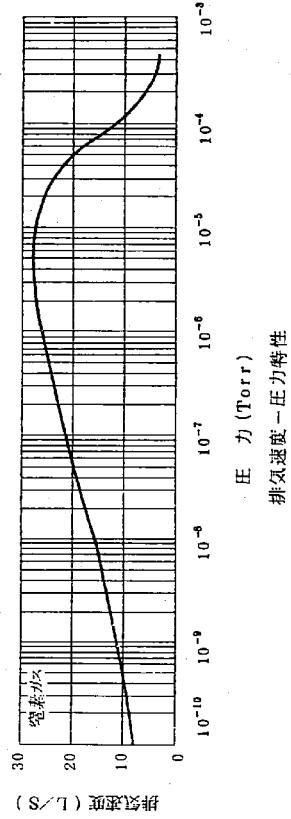


図 5.4 イオンポンプの排気特性

なお、参考までに図 5.5 に、ニッケル板散膜温度と透過水蒸気分圧の関係を実測値について示してみた。ただし、実測値はコールドトラップ制御温度およびブランギング計のブラク温度が一定であるという条件で測定されたものである。またこのデーターは、隔膜膜温度が 500 °C のとき水蒸気分圧 1 として整理されている。この図によると実測値と計算値はほぼ一致していることがわかる。

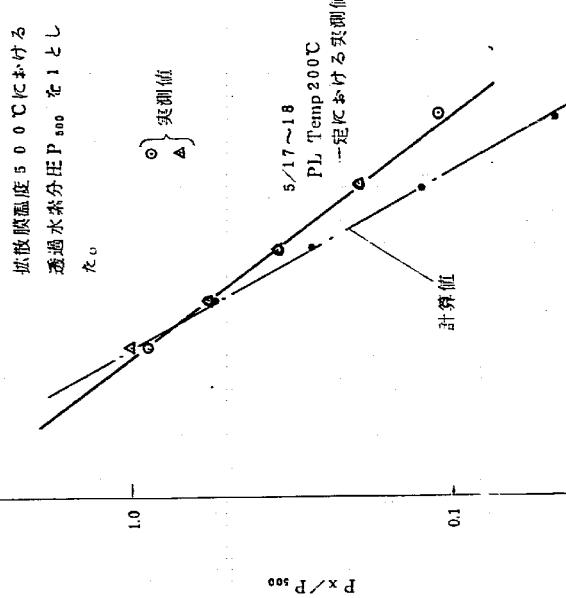


図 5-5 振散膜温度と透過水蒸気分圧の関係

5.2 欠陥部の構造的検討

構造的検討に入る前に断面検査により明らかになつた点を明記しておく。

- (1) 第1回リーカークの際、下管の部分に写真7にみられるような伝熱管の曲りがみられた。
- (2) 第1回リーカーク部補修の際、熱連続管と伝熱管のスライド性が悪かつたので、最下端のスライド部をなくした。
- (3) 2回の伝熱管リーカークはいずれもA管であった。
- (4) 伝熱管と熱連続管のスライド金具はA管が4ヶ、F管が2ヶであった(ただし、第2回リーカーク時にはA管3ヶ所、F管1ヶ所であった)。
- (5) 2回のリーカーク方向は図5-6に示した様に1回目がカバーガスノズル方向

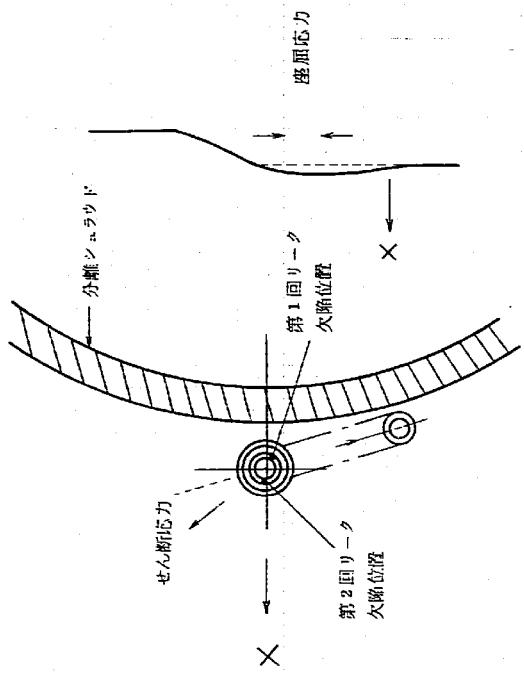


図 5-6 第1、2回リーカーク欠陥位置と予想応力の方向

IC, 2回目が最も外側に生じていた。

- (6) 第1回リーカーク補修時、熱連続管と伝熱管のアミュラス部のNaにも溶解が起つたと考えられる。また、これらはNaによる洗浄運動が行なわれたが、Naの流通孔が3.5φ×8(熱電対挿入も兼ねている)と小さいため、完全に洗浄が行なわれたかは不明であった。
- (7) 热連続管のスライド金具は、5ヶ所であったが、これらのスライド性がよかつたかどうかは不明であった。しかし、その取付具からみて、スライド性が悪かったものと判断し、2回のリーカーク時それぞれにおいて構造変更された。
- (8) 1, 2回リーカークとも、その欠陥部接合部の熱影響および溶着部の硬さは、320～330と高かつた。
- (9) 第2回リーカークは、熱連続管スライド金具4ヶのうち最も上部のものであった。

00 2回の割れとも伝熱管の外側より生じたものであった。

現在、鋼構造物では特に密接がシドに近い粗粒域における衝撃抵抗（韌性）の低下が構造物の破壊に重要な悪影響をおよぼすというのが通説になっているようである。²⁰また、これは接觸部の幾何学的形状の不連続部（溶接の上端、アンダーカット）やその他の欠陥における応力集中が原因となることが多い、このような応力集中部に近い熱影響部粗粒部の韌性が特に重要視される。

以上の結果を総合検討すると第1回リーケーク時には、欠陥部の上部には伝熱管が圧縮応力により密着を起すに至った際、欠陥部近傍には図56のX方向に示すような曲げ応力が作用したと考えられる。また、伝熱管に圧縮応力が加わったということは、熱遮蔽管のガス供給管に引張応力が加わったことになり、結果的には欠陥部にせん断応力が加わることになる。

なお、これら伝熱管自体の応力とガス供給管による応力の合成されたせん断応力は丁度、欠陥（クラック）が発生した方向とよく一致している。

すなわち、伝熱管が座屈を起すような応力が今回の欠陥となつたスマミ内格接部の上端部である熱影響部に集中し、韌性の小さい粗粒域にクラックを発生させたと考えられる。

この様に伝熱管で圧縮応力が加わるということは、熱遮蔽管を分離ショウラウドにサポートしているスライド金具のスライド性があまりよくなかったものと推定される。すなわち、①スライド金具は図29(a)に示したように製缶加工で曲げたもので、取付後変形が起つたり、もともと製缶品のため精度が悪く、スライドするだけのギャップが確保されてなかつた。②第1回リーケークにて、これに気付き、この時の補修では削り出し加工とした。ただし、このときは座の取付面が平面であるのにに対して、実際に取付けられる面は、曲面であることをから取付状態での金具は、図57のように熱遮蔽管をつかみ方に縮むことになつた。このため、第2回リーケーク補修時にはこれも図50のようにより改善された。

このようすに熱遮蔽管取付金具のスライド性が悪い場合、定性的ではあるが、欠陥部近傍に異常な応力が集中するであろうことがわかる。

ちなみに、第1回リーケーク前の設計条件（定格温度）での各部応力値と熱遮蔽管取付金具の最上部にて完全固定された場合および第1回リーケーク補修時に改善された熱遮蔽管のガス供給管を細くした場合の応力値を図58に示した。当然のことながら、各部

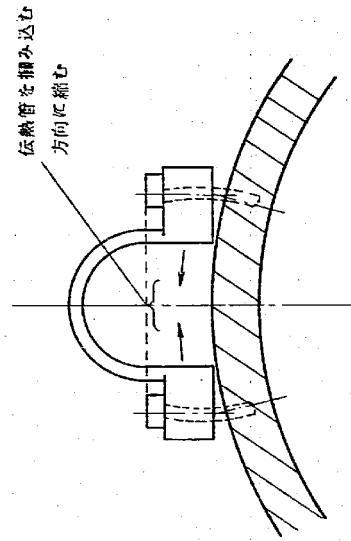


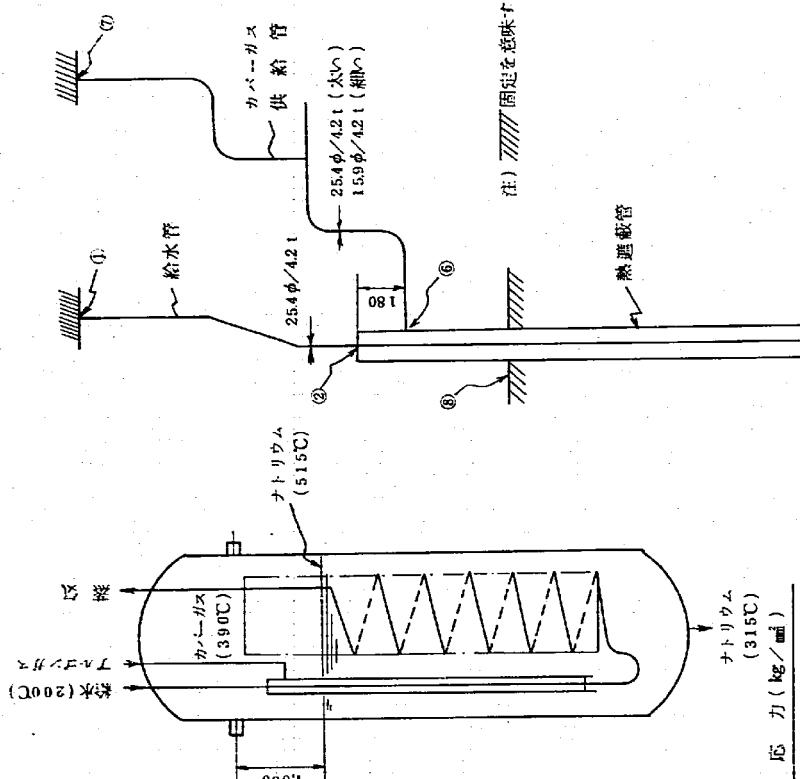
図57 熱遮蔽管取付金具取付時のみの不具合

に許容値を越えてしまうようなどころがある。

また、第2回リーケークの原因については、熱遮蔽管と伝熱管の伸び差について考えてみると必要がある。これは伝熱管が全長にわたって200℃前後であるのに対しても熱遮蔽管は500～350℃の高温Naと直接接触しているため熱遮蔽管の方が約2.7mmほど余計に伸びることがわかる。

したがって、それぞれの伝熱管振止め金具と熱遮蔽管とのスライド抵抗が大であれば、伸びによる応力はそれら金具同志の抵抗により、最上端側へと増加し、この応力による伝熱管の引張り応力も最上部が大きくなろう。このことをうづけるものとして、第1回の補修の際、熱遮蔽管と伝熱管のスライド性を問題にしたが、振止め金具と熱遮蔽管のギャップが0.5mm程度あるので心配ないといつてあつたが、現実には補修工事のとき、スライド性が悪いことが確認され、最下端部のスライド部をなくしている。

さらにも重要な要因は、すでに何回も述べているようにNaの崩解によって生じたNaOHがNaの洗浄によって除去しきれなかつたと思われることである。以上のようなことでかんがみ伝熱管振止め金具と熱遮蔽管取付金具は、ともに最終的な改良により、特にスライド性をよくしているが、これはとりもなおさず、滑動面のギャップがこれまでより大きくなっていることであり、これに伴いフレッテングエローションが増大する方向にあるものと予想され、新たな問題提起になる恐れがある。



ることを感じた。
これら、高溫 Na 中における構造的検討は今後益々必要性を増すであろうことがわかつた。

5.3 Na レンジの構材に与える影響とその対策

Na - 水反応事故や機器の補修においては、多かれ少なかれ構材が水酸化ナトリウムあるいは、Na の腐解液と接触する機会がある。
特に今回の第 1 回水リーケ個所の補修に際しては、付着 Na の全面腐解という事態となつた。また、第 2 回リーケは、第 1 回リーケの補修の際の漏洩液が除去できなかつたと思われるような部分に起つており、これらアルカリによる問題点および、万一眼に生成された場合の、その除去について充分検討しておく必要があると考え、ここに考察を加えてみた。

Na - 水反応によって NaOH が生ずることについては、前述したので、ここではまづ Na の腐解による生成物とそれによるアルカリ腐食と脆化について調査し、これをもとに第 1 回リーケ補修後に採用した腐解液対策の良否について考察してみた。
まず、第 1 回リーケ補修時の Na 剥離液と腐解液の乾燥した後にできたフレーク状粉末をそれぞれ機器本体より採取して、センター内の分析室で化学分析してもらつた結果を表 9 に示した。

表 9 Na 剥離液と付着フレークの分析結果

成 分	剥離液	付着フレーク
NaOH	52.9 (g/L)	3.0 (%)
Na ₂ CO ₃	2.0 "	5.0 "
不純物	2.07 "	8 "
SiO ₂	1.56 "	
Mo	0.938 "	4.60 (ppm)
Fe	2.70 (mg/L)	1.19 "
Cr ⁺⁶	1.50 "	
Cr ⁺³	8.6 "	5.7 "

(注) 不溶物として採取されるものは
黒褐色の粉末で主要成分は Fe₂O₃ : 77.32% であった。
(他は SiO₂ : 20.3%, Cr₂O₃ : 3.65%, MoO₃ : 0.22%)

これによると割解液の大部分は水酸化ナトリウム(NaOH)であることがわかつた。また、この溶液により鉄分が溶出されたとみえ、不溶物として得られた黒褐色の粉末(割解液1.2中に2.8の割合であった)の中に約7%の Fe_2O_3 が入つていた。

割解液が燃焼した後のフレーケーにて、NaOHが燃焼過程で空気中の炭酸ガス(CO_2)と反応してできたとみられる Na_2CO_3 が50%も含まれていた。

次にアルカリに起因する問題であるが、これまでの多くの事故例によれば、アルカリ腐食、アルカリ脆化、脊縫アルカリ腐食といつたものは、ほとんどが、² ライナリ関係の給水口は調整に水酸化ナトリウムを使用していたことに原因があるらしい。それは、アルカリ溶液が優化鉄保護膜を溶解して、常に新しい金属面を露出させることにより、次の様に反応で急速に腐食が進行するものと考へられてゐる。

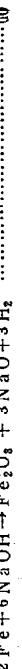


N=0(II)摺紙的作用和「不」之「不」的意義

この腐食には水素の発生による脆化を伴い、主に、フェライト鋼の粒界割れや、オーステナイト鋼の粒内割れおよびその混在割れが起り、それらはアルカリ濃度、応力、材料の組織に依存し、特に密接後のマルテンサイト状組織が（硬度の高い熱影響部や STPA-24などのCr, Moの炭化物を形成する元素を含む材質）において割れ

点滅を起す場合があるが、これも式(9)で生じた水素で脆化あるいはアタックを伴うなど、割れに発展する機構は非常に複雑をきわめているようである。

また、アルカリ腐食は、炭酸ナトリウムが以上の様な結果中に存在するときばかりでなく、溶融状態においても、



るのと考えられる。

それゆえ、第1回リーケク補修時の調解対策として、初めに低温(10℃前後)

たのは懸命な方法でもつたと見えられる。なお水リーク個所の補修が大がかりの場合
は、Naの付着状態では困難をきわめるであろうから、50MW1号SODの洗浄剤で
採用されたような水蒸気洗浄後NaOHを炭酸ガスで腐食性の小さい Na_2CO_3 に変化さ
せる方法などを考慮する必要があらう。ただし、いずれの場合でも隙間腐食について
は十分に検討を要するであらう。

伝熱管のリーカ検出法

リーカ検出の目的には大きく別けて次の3つの事が考えられる。

- (1) リーカの有無と規模の判定
- (2) 多数伝熱管のうちのリーカ管の判別

5.4 伝熱管のリーグ検出法

リーカ検出の目的には大きく別けて次の3つの事が考えられる。

- (1) リークの有無と規模の判定
- (2) 多数伝熱管のうちのリーク管の判別

- (3) リーク個所の位置的確認
1MW SGにおいて、上記目的に沿つてすでに述べたように、種々の方法でリークの確認を行なわれた。これらにおいては、伝熱管の本数が通水管に限れば2本であったことから、いずれの判別も比較的簡単に行なわれたと考えられる。しかし、将来の大出力 SG、例えば原型炉「もんじゅ」 SGでは伝熱管本数が約1300～280本位になると、この中からリーク管を判別することは大変な作業になるものと想される。

すなわち、大型SGにおいては、伝熱管にリーカーが起つた場合、そのリーカー管を直するという姑息な手段で補修をするというよりなこととも考えられているようであるがこの場合リーカー原因の究明が行えないなど、その後の運転において同じ様な事故が起るのではないかといり不安はぬぐい切れない。しかし、前述の様にリーカー規模、リ

検討より、原因もある程度あきらかになるのではないかと考えられる。
そこで、今回用いられたリーグ確認法が、これら大型SGにおいても多少なりでも有効な手段と考えられたので、多伝熱管のリーグ検出に応用する場合の問題点など

1、2回リーキ管の確認試験では、あくまでも欠陥部のセルフプラグを起させない
ということで、伝熱管側だけの加圧を行なっている。そこで、仮りにもんじゅSGに
この方法を適用しようとした場合を考え、この加圧に要するガス量を検討してみる
ただし、圧力試験のための圧力は、できれば第1種圧力容器としての耐圧試験圧力

最高使用圧の 1.2 倍) が空気しいことになるが、この加圧に通常のガスボンベを用いる場合、その圧力は 1.50 atm を越えることはない。したがつていたいにあり、ボンベ 1 本当り圧力 1.45 atm、容積 4.7 ㍑からもんじゅ SG の伝熱管を 1 水当

Pv = Consist

$$P_X = \frac{47 \times 145}{47 + 10} \approx 120 \text{ atm}$$

程度の試験圧になつてしまひ。すなわち、この程度の試験圧でゆるされるとしても、

それゆえ、もんじゅSGにおいて、伝統的燃費 1本当たり 1本を使ひ割定になる。それゆえ、もんじゅSGにおいて、伝統的燃費全数の加圧試験を行なうのは無理となる。

そこでまず、リーカの有無を低い圧力で確認し、そのリーカ管のみについて、規模の判定を行なうため加圧試験を行なうことになる。リーカの有無の確認は多数伝熱管の場合、給水側、蒸気側ともに各々の伝熱管が管板で一緒になっているので、Na

セルフノックの心配がない場合はノックノック側に調整して、管板部位置にて気泡上昇を調べる方法がある。あるいは、シェル側にヘリウムガスを張り、伝熱管側で1本、1本ヘリウム検出を行なう方法もある。

なお、セルフブレーキに対しては、水リードを検出して装置の運転を停止するとき、
空気プローブとともにアルゴンガスを加圧しておけば、まず初期セルフブレーキは防止で
きる。またこの状態で、S/Gの温度を常温までもつていけば、かりに逆圧

次に欠陥位置の確認法であるが、第2回リーフのとき試験的に音響検出法を使ってシエル側に加圧しても、セルフブラークは起らないのでないかと思われる。

場合、検出が無理であり、またS/Gの構造大きさの制約もあるようであった。

であるが、これから考へても S G が大きくなればなるほど位置確認が困難になると予想される。

図 10 1 MW, 50 MW, 100 MW の太陽光発電の比較

伝熱管 1 本当りの容積	1 MWSC	5.0 MW _{th} SC	もんじゅ SC
シエル管列と十分	約 10 ℥	約 9.5 ℥	10 ℥ 前後 (確実値は不明)
シエル管列と十分	約 3.5 m ³ (1,000 × 9,500)	約 2.0 m ³ 2,200 × 1,500 × 10,800	約 4.5 m ³ 2,500 × 1,300
伝熱管本数	2 本通水管	7 本	約 1,300 ~ 2,800
他 (C.D. ミ一管)	8 本		3 1.8 φ 2 5.4 φ
伝熱管外径			1.4 3 kg/cm ² g
蒸気圧力			1.4 3 kg/cm ² g
給水および蒸気管の接続方式			給水 : ヘッダ 蒸気 : 管板

作業 (1) 50MW・60Hz・1500rpm発電機の起動過程を示す。

(2) 1 NWSO(本部)、調査部、体制

55 リーク抑制の検定

前節において、リーカ規格の確認は補修、原因の究明などに重要な手掛かりになるであらうことを述べた。そこで、ここではリーカ確認試験や水リークによるNa—水反応により増加した不純物の濃度等から、リーカ規格について検討してみた。

〔1〕 ヘリウムガス（单原子气体）の圧力降下試験の結果、図1に示す如きである。

よる臨界噴出流の式は、

より、ノズル断面積 [A] を求め、これより平均等価直径の形でリーカ穴を推定してみる。

۱۷۰

それゆえ、今後においてこの位置的確認法の確立と N_a 側加圧のときのセルフフラーの問題については十分設計しておかなければならぬと感ずる。

5

K : 比熱比
 γ_m : 臨界条件における圧力比
 P : 假想気体の圧力 (kg/m^2)
 v : 比体積(試験圧力における) (m^3/kg)

なお、比熱比(K)と圧力比(γ_m)は、假想気体の種類、例えはHeやArなどにおいて、あまり温度に関係なく図5.9の様な関係になる。したがつて、1回リーダーク時のリーダーク確認試験において、ヘリウムガスによる圧力降下試験データから、その時の温度、圧力条件を考慮して、上式より穴径を推定した。
 すなわち、伝熱管の容積は伝熱管外径 2.5.4 φ、肉厚 4.2 mm、伝熱管長さ約 3 m より約 1.0 L。

$$V_x = V_o \cdot \frac{T_i \cdot (P_o - P_x)}{T_o \cdot P_i} \quad \text{.....(3)}$$

九三

۲۷۰

卷之三

V_0 : 伝熱管の体積(ここで $1\text{m} \times 10^{-2}\text{m}^3$)

T_o : リークガスの温度 (273+SGの温度=K)

卷之十九

F₁ : 大氣圧 (1 atm)

T₁ : 大氣圧 温度 (273 + 室温 = K)

P. : 制定開始の年月 (平成年)

卷之六

P_x : ある時間経過後の圧力 (kg/cm²)

ヘリウムガスの常温(17°Cと仮定)常圧における重量と体積の換算はそれぞれ次の通りである。

$$G_x/V_x = 0.169 \quad (\text{kg/m}^3)$$

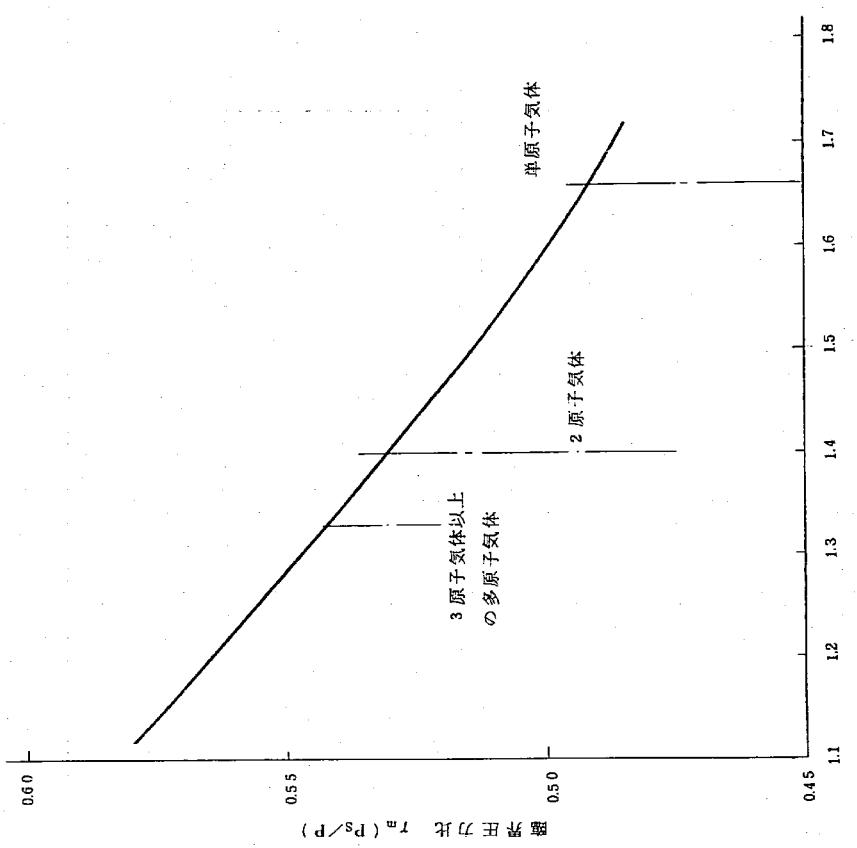


図 5.9 比熱比と圧力比の関係

この重量 (G_x) を出力降下時間で割ってやれば単位時間 (s) 当りの理屈気の重積流体が求められる。また、リーグ測定の平均出 ($P = \frac{P_0 - P_x}{2}$) における体積 (V) は、

5,92

左名

以上の関係を用いて、1, 2回リード時のヘリシムカス庄刀牌「試験料木」(以降略す)

ヘリウムガスによる圧力降下試験の結果

	第 1 回	第 2 回
S Q 温度	常温 17°C	178 (°C)
計算に用いた) 圧力範囲	P_o 109.0 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$) P_x 103.0 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$)	121.5 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$) 118.2 (")
$P_o \rightarrow P_x$ に至る圧力	960 (s)	3,600 (s)
降下時間		
測定中の平均圧力	1.06×10^4 (kg/m^2)	1.195×10^4 (kg/m^2)

の条件をもとにノズル断面積を求めた結果は、

第1回 分時 12×10⁻¹⁰ (m²)

卷之三

卷之三

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

5

第1回：234，第2回：124

この推定径は、欠陥部のカラーチェックや頭微鏡写真から判定して妥当であつ

九上將軍・少將・大將

(12) 子にて、この空席をもとにカリブイースの代に上り水リーナーを算定しておなじ

$$V = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot k \cdot A}{\gamma} \right)^P$$

KC 指示： 総務係職員会議

以上との関係を用いて、1, 2回リード時のヘリウムガス圧力降下試験結果(次

卷之三

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 145 \times 10^4}{840}} = 184 \text{ m/s}$$

ここでリーカー時間をどうすこか、その次郎部がリーカーの時は、ここでは第1回のリーカー時間とカバーガスであったことを考慮して、ガスクロのスケールオーバーから水系距離まで($2^{\circ}0' - 8^{\circ}5'6''$)の約11時間とした。したがつて、

$$Q = \Lambda \cdot v \cdot h$$

$$= 4.2 \times 10^{-10} \times 1.84 \times 1.1 \times 3.600$$

$$= 3.34 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

給水の密度 840 kg/m^3 上り

$$Q_w = 3.34 \times 1.0^{-3} \times 840 \div 2.8$$

第2回は図3-9から2-2-3より、ソーノンが起つつきりしていないので、まず、水銀計の上昇開始時刻（ $3^{\circ}45\text{~m}$ ）より水系がアーチレートされる（ $4^{\circ}32'$ ）までの47分間で整理してみた。

$$Q = 0.97 \times 10^{-10} \times 1.84 \times 4.7 \times 6.0 = 5.03 \times 10^{-5}$$

したがつて、仮りにダウンカム熱遮蔽管内の温度が異常指示を始めたと考へられをリーカ開始点とするとき $42.3 \times 27.5 = 116$ g の水がリーカーしたときの、いざれにしても第2回リーカーは第1回に比べて非常に小さい規模であったとする。

思われる。

(8) 次に、第1、2回リーカーについてリーカー前後のプラギンク温度の変化から、その不純物附加量を求め、これよりリーカー水がNaと反応した量について検討してみる。

まず、第1、2回リーカー前後のプラグ温度は

リーカー前 リーカー後 (Naドレン直前)

第1回	15.2°C	28.5°C
第2回	16.9°C	20.2°C

(ただしごールドラッピング効果は無視した)

リーカー後のプラギンク温度で、Na-水反応で生ずるとされている Na_2O , NaOH , NaH がすべて飽和状態にあつたとすると、図60の各不純物の飽和溶解度曲線より、Na-水反応に伴うプラギンク温度上昇分の不純物量は、次の表12の通りである。

表12 各不純物のリーカー前後の変化

	第1回		第2回		増加分	
	リーカー前	リーカー後	増加分	リーカー前	リーカー後	
プラギンク温度	15.2°C	29.5°C	—	16.9°C	20.2°C	—
水素(H)(ppm)	0.1	7.3	7.2	0.23	0.75	0.52
酸素(O)(ppm)	3	7.0	6.7	5	1.2	7
水酸化ナトリウム(NaOH)(ppm)	6.3	29.0	22.7	8.0	1.25	4.5

ここで、それら不純物を生成するに要した水蒸気量を算出するわけであるが、 NaH は式(5)～(8)をみてもわかるように2次的な反応であり、水蒸気量とは直接関係がない、かつ、プラギンク温度より推定された NaH も非常に少ないとから無視して考える。

まず第1回リーカーで、 Na_2O の生成反応は式(6)によるとして、この全不純物量はループのNa量4.25トン(インベントリ5gでリーカー時のNa温度を考慮)と、そのときの增加不純物濃度6.7ppmから、 $6.7 \times 10^{-6} \times 4.25 \times 10^6 = 2.85 \text{ g} = 0$ (酸素) Na_2O 換算で1.104g。

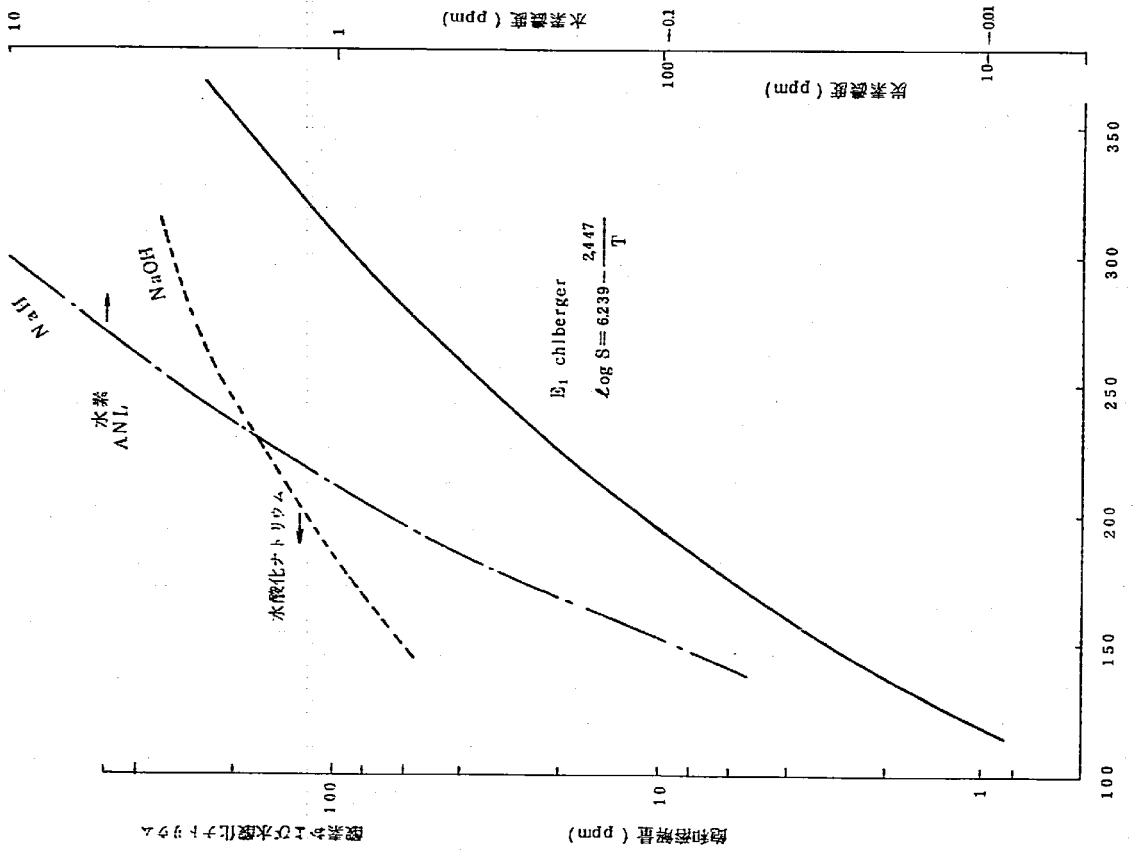


図60 各種不純物のNa中飽和溶解度曲線

$0/\text{Na}_2\text{O}$ の分子量比 $1.6/6.2$ から、その mol 数は $1.7.8$ となる。したがって、水蒸気量は HOH の分子量、 $1.8 \times 17.8 (\text{mol}) = 32.0 \text{ g}$

同様に、 NaOH は、 $2.27 \times 10^{-6} \times 4.25 \times 10^6 = 9.65 \text{ g}$

Na_2O の分子量 40 から $9.65 / 40 = 2.41 (\text{mol})$

それゆえ、これら不純物を生成するに要した水蒸気量は 75.48 g となる。

第 2 回リーグ時も第 1 回同様にして算出すると、

$$\text{Na}_2\text{O} \text{ 生成に要した水蒸気量} = 3.34 \text{ g}$$

$$\text{NaOH} \quad " \quad " = 8.6 \text{ g}$$

両方で 11.94 g となる。

前述のリーグの大きさから推測されリーグ量と比較してみると、第 1 回リーグでは、ブランク温度から求められたリーグ量が約 $1/4$ と小さくなっている。これについては、5.7 章で述べる。また、第 2 回では、リーグが熱電対温度が異常指示を始めたときからとしたりーク量とほぼ一致している。ただし、ブランク時より求めたリーグ量は、リーグ水がダシカンカマのレベル制御系から多少なりとも放出されていたと考えられることから、大きめな算出となっていることがわかる。

これは、1、2 回ともそりであるが水酸化ナトリウムがブランク温度で飽和にならないのではないかと考えられることがある。

すなわち、反応時の Na 温度が比較的高い場合、 $\text{Na}-\text{水反応} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$ が生成されるためによるものである。

5.6 ブランク計の二重ブレーク物質の検討

Na 中の不純物（主に Na_2O , NaH , NaOH , Na_2CO_3 等であると考えられる）は、たとえその量がごくわずかであっても有効とされ、その検出と測定、それに制御が必要になる。

酸素（主に Na_2O と思われる）と水素（ NaH ）は高温において腐食や水素発化の問題を起すなど、鋼材に悪影響を及ぼすとともに、酸化物においては流路を閉塞する原因になる。また水酸化ナトリウムにおいても、その量が多くなると流路閉塞を起す恐れがあるといわれている。

炭素や窒素についても、炭素がオーステナイト鋼に浸炭して、その鋼材を脆くする

ことや、炭素が高溫において空化物を形成するなど悪影響を及ぼすことなどが知られている。

しかし、現状において、それら不純物の検出は定量的には水蒸気換出としての水蒸気計のみであり、その他に、ブランク計により酸化物によると思われるブラック温度の測定がなされているにすぎない。また、これら不純物の側面（純化）はコールドトラップによって行なわれているが、その側面目標もブランク温度の監視によつてなされている。したがつてブランク計で測定される不純物が何であるか、特にダブルブランク現象の現われたときの高いブランク温度が何を物語っているかを知ることは、前述の不純物による問題もさらのことながら、コールドトラップを効率（補獲性）よく運転する上でも重要な考え方、ここに検討をこころみた。

1MWSG施設では昭和 46 年 4 月に第 1 回 SGICNa を初めてチャージして以来、第 2 回 SGICNa を試験終了まで、ダブルブランク温度が観測されてきた。特に第 1、2 回 SGICNa が充填初期に鋼管に現われていてこと、 $\text{Na}-\text{水反応} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$ によって生じた不純物の純化運転でもダブルブランクが測定されたが、そのときのブランクパターンが、これまでと多少異なること、さらに第 2 回 SGICNa の第 1 回リーグ補修時に生じた潮解 Na を Na によって洗浄されているが、このときもダブルブランク現象が顕著に観測されたなど、ブランクパターンが検討の対象として考えられた。

ただし、潮解 Na の洗浄では、Na 温度が比較的低温 (Na 温度 250°C) のとき、 $\text{Na}-\text{水反応} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$ 生成物の純化と同じ様なブランクパターンが現われ、 Na 温度 350°C では SGICNa 充填初期と同じ様なブランクパターンがそれぞれ観測された。

そこで、これらブランクパターンの歴史を追いかながら、また他の施設 (5.0MWSG)、大型 Na 機器構造の耐久ループのフェライト鋼ループにおいても、やはり、ダブルブランクが観測された。しかしこのときはコールドトラップの運転により高い方のブランク物質は簡単に消滅した。

まず、昭和 46 年 4 月 23 日に 1MWSG 施設において Na ループ系 (ステンレス鋼) だけの運転でも顕著でないが、第 1 ブレーク温度 205°C 、第 2 ブレーク 149°C のダブルブランク現象がみられた。しかしこのときはコールドトラップの運転により高い方のブランク物質は簡単に消滅した。

度上界とともに高い方のブレーキ温度は300℃を越えた。このときカバーガス中の水蒸気濃度をガスクロによって測定していたが、この水蒸気も最大フルレンジの25.0 ppmを越えてしまった。

このため高いブレーキ物質は水系化物ではないかと判断された。

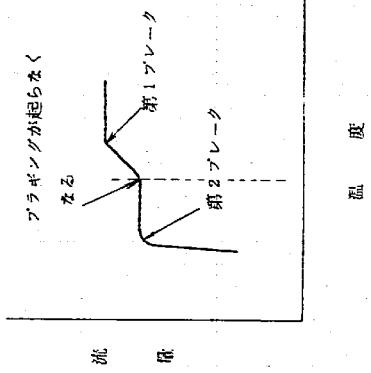
水蒸気濃度と判断した理由のもとで、SO₂伝熱管表面に成分不明（伝熱管メーカーのノウハウにより）の kupfer 粉末が溶かされているということで、これから水蒸気が発生したものと考えられた。

第2次SGに初めてNaをチャージしたときもダブルブレーキ現象は頭脳に現われたが、このときはSO₂ベーキング（200℃下熱で一昼夜真空引き）を十分行なつていなければ、ガスクロの水蒸気濃度は数百ppm以下であり、第1次SGに初めてNaをチャージしたときの2000 ppm前後より低かった。またこのとき、隔膜式水蒸気計は、SO₂から不純物によって、ニッケル膜の被損を恐れて活かさなかつた。このため第1次SGでの水酸化ナトリウム脱水は打消することはできなかつた。

しかし、第1回水リーケークのNa—水反応によって生じた不純物をNaループ系だけで純化したときも、ダブルブレーキが現われた。ただし、短時間（1～2時間）の純化で消滅した。これは、ストレージタンクの温度を通常の150℃前後より初めて300℃まで上げたことにより、以前からストレージタンクに存在していた、比較的溶けにくい物質であつたと考えられた。このときは、隔膜式水蒸気計によりNa中水蒸気の測定を行なつてゐたが、前節で述べたようにダブルブレーキの高い方は水蒸气でないことがわかつた。

SO₂補修のとき、Na潮解が起りNa₂CO₃が多量に生成された。これのNaによると洗浄運転では、ダブルブレーキ現象が長期間続き、ブレーキバーンもはつきりしていた。これらブレーキ現象のダブルブレーキ現象において、流量の第1ブレーキ点が測定された後もNa温度を下げていくと次回の様に約200℃位のところでブレーキングが起らなくなる場合がある。このブレーキングの起らなくなる温度は、第1ブレーキ温度が高いほど高くなる傾向がみられる。

例えは、第1ブレーキ温度が300℃の場合、ブレーキングが起らなくなるのは230℃で、第1ブレーキが240℃のときは200℃になるとおり具合である。しかし、いずれの場合も一端閉塞を起した第1ブレーキ物質は、溶解操作のとき溶解にくいという現象を示している。



次に、この第1ブレーキ物質をコールドトラップで純化できるかという点に着目して考察してみる。第1次SGでは、第1ブレーキ物質を無視して、第2ブレーキ温度でコールドトラップ温度を制御していた。このときは、高い方のブレーキ物質はほとんどトラップされなかつたよりで、むしろNaドレンのとき、この物質も一緒にドレンされたようであつた。このように高いブレーキ物質が、あまり純化されなかつたにもかかわらず、この純化運転ではコールドトラップが4台も使用された。これは高いアラグ物質がコールドトラップ以外ところで閉塞を起していたものと考えられた。

そこで、第2次SGでは高いアラグ温度でコールドトラップ温度の制御をこころみたら、図6-1にアラグ温度の経過を示したように、比較的短時間で純化が可能などがわかつた。このとき使用されたコールドトラップは第1次SGより引き続き用いられたものと、これが閉塞した後交換されたものの2台だけであった。

しかるに、クロモリループではコールドトラップを2台設置して、それぞれのブレーキ温度によって運転するのがコールドトラップを効率よく使用する最も方法のかもしれない。

この様に現象面だけから考えると本物質は、ある温度以下（温度で変わる）で、これまでの溶解性であったものが、粒子状あるいは浮遊物のような形に変わり、Na中に存在するようになるようである。また一端粒子状化した不純物は再溶解するのに、粒子化したときより高い温度で、しかも酸化物等より溶解時間も要するようである。

以上これまでにあきらかにされた点を総合的みて、ダブルブラックの低い方のアラク物質は、フェライト鋼特有のもので、Na潮解物質(特に Na_2CO_3 が多量にあつた)の洗浄においても長い期間にわたって剥離されたなどから、剝離液によってクロセリ材($2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$)が腐食され、これから炭素が遊離したか、炭酸ナトリウムそのものによって生じたものと考えられる。いずれにしても高いブラック物質はカーボン系の化合物で、二酸化炭素あるいはフェライト鋼からの脱炭遊離炭素によるものと考へて誤りがないのではないか。

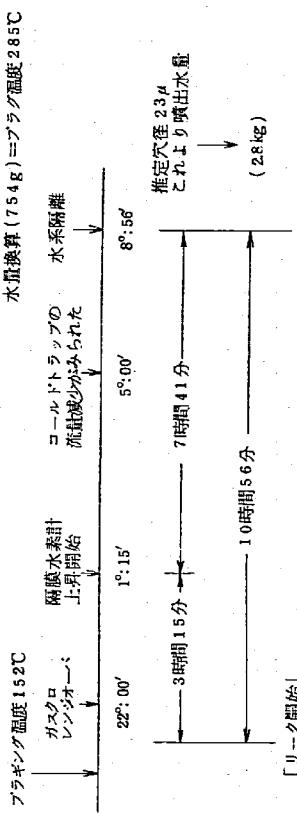
このように、高溫 Na 中における炭素の挙動を知ることは、構成の脱炭層による材料疲労の面から重要なとの認識は以前からあったが、炭素の Na への溶解量が図 6-2 にみられるよう非常に温湿度依存性が大きいため、その測定が困難であり最近まで、その究明がなされたのが実状のようである。

しかし、現状の SG 施設のようにはステンレス鋼とクロモリ鋼で構成されようとしているバイメタリックループでは、いくら Na への炭素溶解量が小さいといつても炭素含有量の大きさ異なる材料構成と炭素の脱炭層問題となるような温度分布で運転される施設では、炭素の挙動を把握していくことが重要であると考えられる。

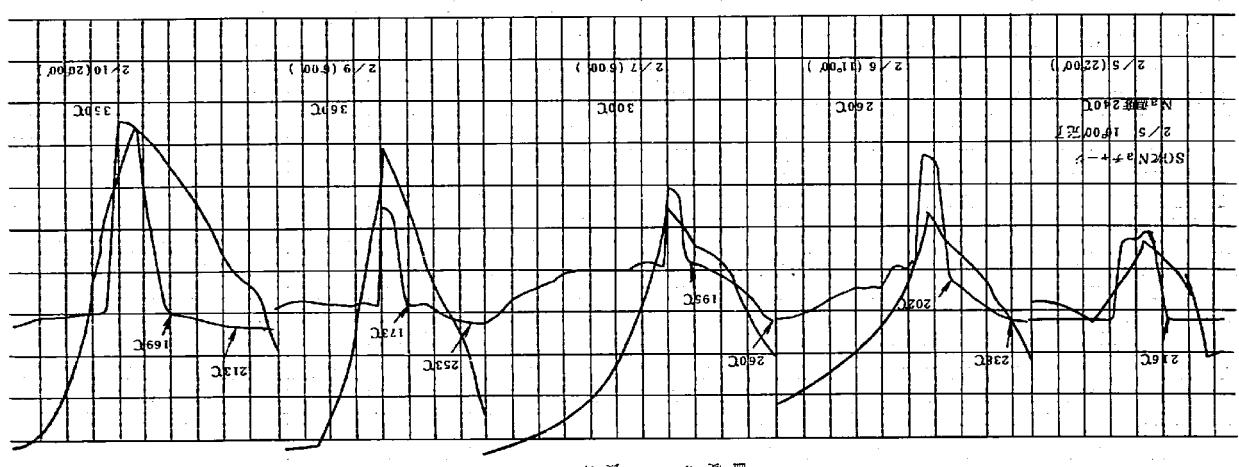
5.7 1, 2回水リーク結果の纏め

今回のリーケは第1回がダウンカマ熱遮蔽管外最上部のカバーガス層に、2回目
がダウンカマ熱遮蔽管内これもガス層部に起つたものであり、第1回リーケ蒸気の
大半は大気に放出されたが、2回目のそれは熱遮蔽管の下端より大部分の蒸気が Na
中に噴出されたものと考えられた。これらのリーケ状況について、その経過および檢討に
よつて得られたリーカ根模の結果等を模式的に繪わせてみると次の様になる。

第1回目は(4/10)



圖六二三之二



第2回目 (11/19)

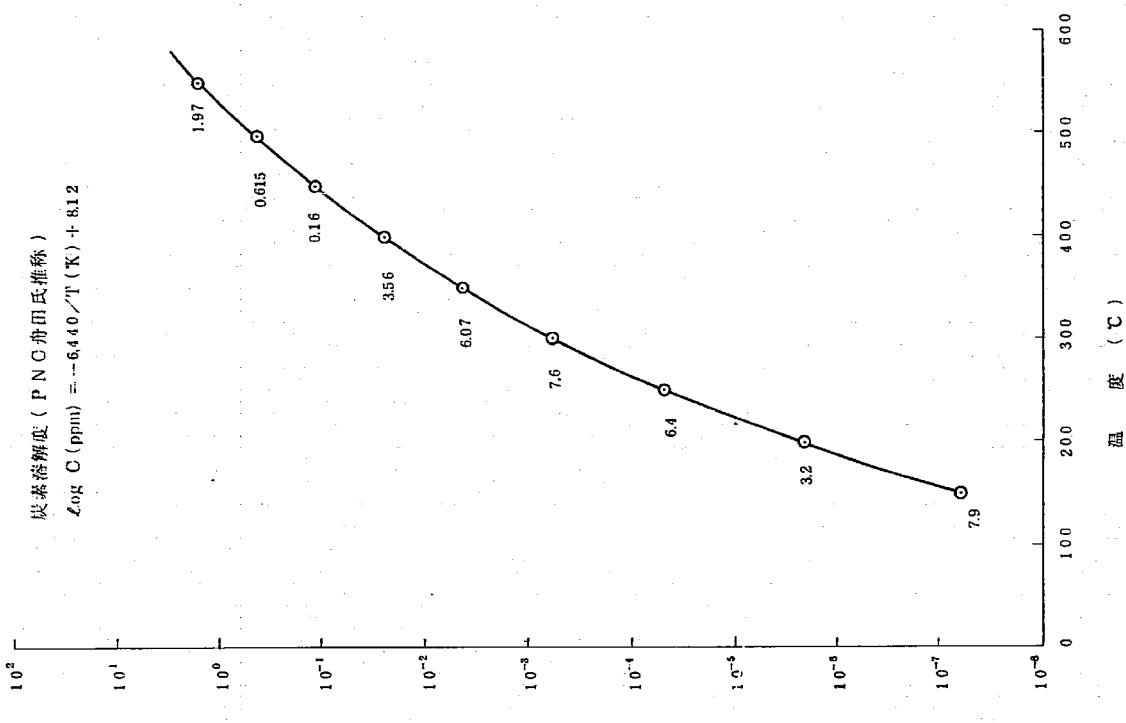
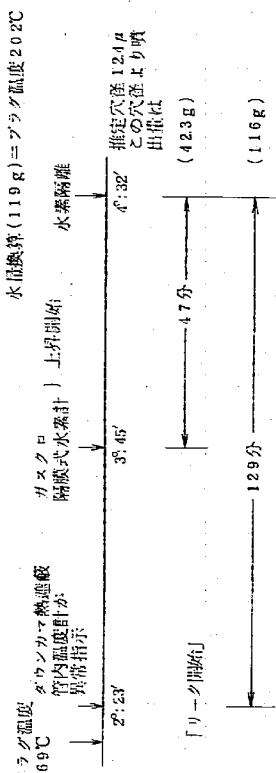


図 6-2 ナトリウム中の炭素溶解量

-140-



さらに、図 6-3 は第 1 回リーグにおける各種リーグ検出計（ガスクロ、Na 中水蒸気計、アラギング計）の時間的変化を示したものである。これからもあきらかなようだ、Na 中水蒸気計の指針上昇はガスクロにより約 3 時間の遅れとなって現われている。このようないくつかの単いはずの隔膜式水蒸気がガスクロより遅くなっているのは、ガスクロの水蒸気検知がガバーナス中に蒸気とした蒸気とシェル上部の自由液面停滯 Na（温度が最も高）との反応によって生ずる水蒸気の挙動時間と分析時間（3 分）程度の遅れで測定されるものに対して、Na 中水蒸気では高溫部の反応生成物が停滯して、しかも低温側に溶解拡散していくことによって検出されるため、この程度遅れがあつたものと考えられる。

また第 1 回では、推定穴径からの検出水量（2.81g）とアラギング温度上昇からの水量（7.54g）とでは大きな差があるが、これはすでに述べたようにガバーナス中に漏れた蒸気が SG レベル制御系を通して大気に放出されたものと、反応生成物が Na 中に溶けないで残っていたものがあつたためと考えられる。

2 回目の結果は、アラギング温度から求めた水量の方が、穴径からのそれよりも多くなっているがこの場合もダクンカマのレベル制御系よりガス放出があつたと考えられるので、Na と反応した水量は穴径より推定されたものより小さくなればならないであろう。にもかかわらず、アラギング温度からの水量の方が大きいのは、Na 一水反応によって生じた不純物（NaOH）がアラギング温度で完全に溶解してなかつたためであろう。

最後に今回の経験を踏えて、将来の SG 施設において具備されるべき条件や万一水

リーグが生じたときの最適と予想される措置法について操作順にしたがつて考えてみた。

- (1) まず、水リーグ検知から水系隔離までは迅速性が要求される反面、事故処理の混乱が予想されるためセルフブレーキ防止対策を含めて、すべて自動的に操作でよいようにするのがよいであろう。それには、リーグ検知器としてより応答速度が早く、信頼性、耐久性に秀れた検出器の開発が望まれる。
- (2) 水系隔離はウエスティングハウス面だけを考えるとだけ早い方がいいが、しかし、隔離時の SG 以外の水蒸気系への圧力波及を考慮して、次の様な隔離順序とすべきである。

給水ポンプ停止→SG 出口蒸気プローブ→SG 入口弁隔離→SG 伝熱管アルゴンガス給入→SG 出口蒸気プローブ閉

なお、今回のリーグもそちらであつたようすに実プラントにおける事故では、だいたいがスリット状欠陥が予想されるので、ウェスティングハウスは緩和される方向になる。
- (3) 水系隔離後の Na 系のドレンは、リーグ規模に応じてやることになる。すなわち、大リーグ（欠陥部が cm のオーダー）では SG の Na はドレンしない方がよい。中リーグ（mm オーダーの欠陥）では、Na ドレン可能。小リーグ（今回）の欠陥の様に μ オーダーでは、Na ドレンを行なわず、直ちに Na 純化も可能（ただし、この場合のセルフブレーキ防止は重要）と考えられる。なお、リーグ規模とその欠陥のオーダーは、ここで、便宜的に決めたものである。
- (4) 欠陥規模と位置的確認は、盲ブレーキまたは解体補修を問わず重要なところ。なぜなら、盲ブレーキか解体かの判定と原因究明をする上で必要になる。
- (5) 補修後の SG は思わず所に融食生成物が付着している可能性があるので事故の再発を防止する観点から、Na の純化運転を慎重に行なう必要がある。

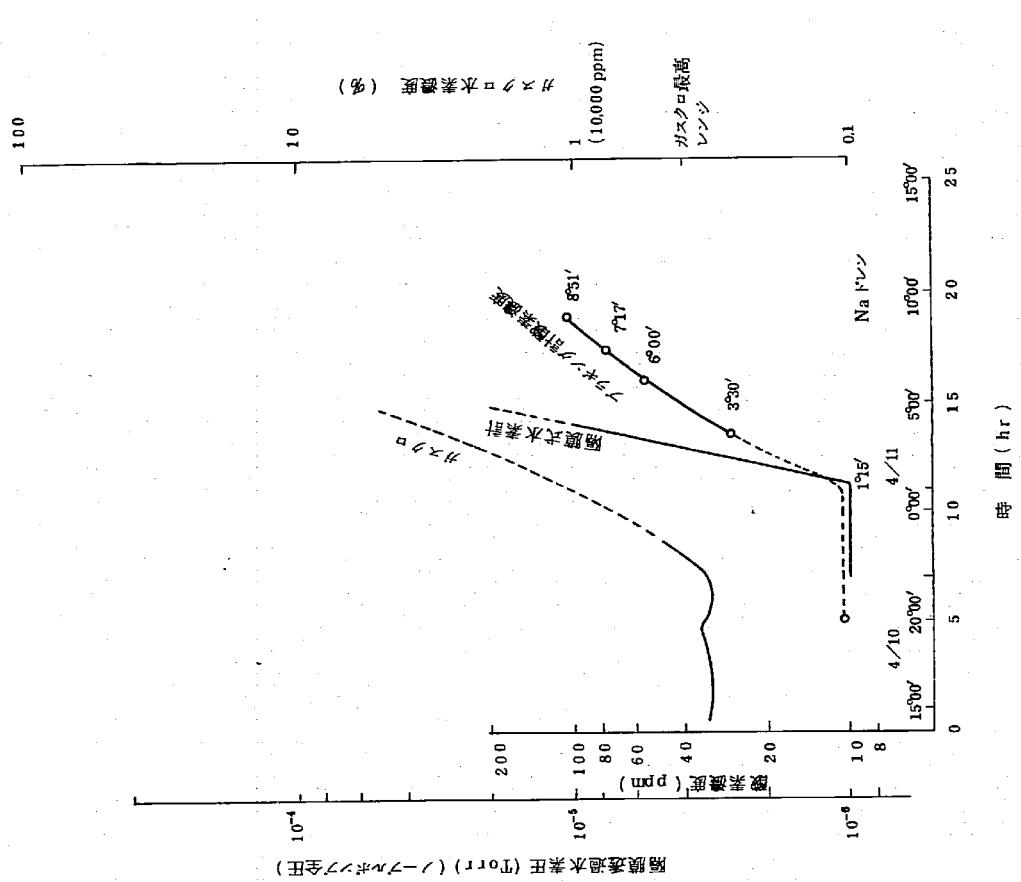


図 6-3 リーグ検出計示の時間的変化

6. 結 言

1 MW SG 試験室において、今回の 2 回の伝熱管水リーク現象とリーク管の補修を通りて、いろいろな経験と技術の取得がなされた。またそれらの考察により、SG開発上の多くの難しい技術的な面を示唆したとともに、今後さらに検討を要するであろうような事柄に関するてもあきらかになった。

- 1) 2 回のリーク現象を通じてあきらかになった点は、Na 中とカバーガス中にかかる水リークとでは、検出器の応答時間に大きな差が出たことである。

これから、現在のタイプの SG で、しかもいまの水リーク検出位置では、静止 Na 中（ダッシュカマ部等）へのリークの場合、Na の流動部に比べてかなり応答遅れが予想される。

- 2) 補修作業を通じてビニールカバーにより、不活性雰囲気を作つての作業法は、他の Na 機器にも応用が可能であることがわかった。
ただし、不活性ガスとしては空気より重いアルゴンより窒素ガスの方がよく、ビニールカバーにて開口部を有しているときは窒素の供給を絶やさないことがある。
- 3) Na - 水反応生成物および補修によって生じた潮解液の洗浄については、

- (1) Na 潤化運転時に隔膜式水素計出力とプラギング温度との比較から、水素計としての校正カーブを得た。それによつて、水素化合物はコールドタップで十分制御できることが解った。
- (2) プラギング計における二重ブレーキ現象とその挙動から高いブランギング温度物質はカーボンと、低い方が酸素と水蒸でもあることがほほ解った。

- (3) Na - 水反応によって生じた不純物は、Na とともに高溫状態でストレッジタンクへ一端ドレンし、低温にしてからループへ再チャージすると、低温相当の溶解不純物量しかループに上らないことが解った。ただし、ドレンの際 Na 中に溶解していない不純物はどうしても SG あるいは、ループ系に残つてしまつようである。
- (4) Na の潮解により生じた不純物（特に NaOH）は真空加熱脱湿と Na 自身によって洗浄、除去がこころみられたが、その後の長期間（約 1 万時間）の運転

炎誠から、その有効性が確認された。

また、現在行ないつつある本 SG の材料試験の結果が出来ば、さらにその張づけとなろう。

- 4) 次階部の試験操作を通じてあきらかになつた点は、
 - (1) 高温 Na 中で使用される構造材の溶接において、その密接性の考慮が必要なことと、鋼内溶接は可能な限り避けるべきであることがわかつた。
 - (2) スライド部をもつサポート金具類は構造面とスライド性について耐温における変形、歪みを十分考慮する必要がある。
 - (3) 構材の溶接部は角度を下げるため可能な限り焼純を行なうべきである。
 - (4) リーク規範の確認試験において、圧力降下法は、最も簡単で確実な方法であった。
- 5) 以上の様に現象面からあきらかになつた点の他に、これらをもとに考察した結果から次の様なことをいえる。
 - (1) 水漏洩検出器の静圧式水素計とガスクロは、今回の 2 回のリーカーと効果的に動作することが確認された。しかし、ガスクロのサンプリングラインの閉塞、抵抗膜の破損や質量分析計の不具合など技術的にまだ未開発すべき点がある。特に応答性（取付位置が関係）の他に信頼性の向上につめる必要がある。
 - (2) 次階模擬の推定から 1, 2 回のリーク規模は、ほぼ次の通りであつたといえる。

第 1 回水リークのクラックの大きさは等価直徑にして、23 μ であった。これがからリーク水量は 2.8 kg, このうち Na と反応した量は約 750 g である。
第 2 回は推定穴径 1.24 μ, これよりリーク水量 120 g, このリーク水は噴出点がダムカンカマの熱しやへい管内のガス中であつたが、構造上からほとんどが Na 中に噴出し、そこで反応していることがわかつた。
 - (3) 伝熱管のリーク検出法の検討より、リーク管の位置的確認法の開発はリーク原因の究明をする上で重要であるといえる。
- 6) SG の安全性、信頼性の向上において次の様な事柄は、今後さらに検討される

べきであると考えられる。

- (1) バイオメトリカループにおいて、戻収率を把握し、材料評価する。
- (2) すでに述べたように、信頼性の高いリーアク検出計の開発が望まれる。
- (3) Na-水反応生成物および、潮解液などアルカリによる樹脂の腐食の究明は、Na 機器の洗浄法開発とも関連して重要であり。特に隙間部腐食は重大な要因となる可能性があり。
- (4) 伝熱管ウェーハージ検出法の開発 (ISI とも関連)。
- (5) リーアクが起ったときのアイソレーション条件の測定と自動化(これまでには、リーアク検出計におけるリーアク管の位置的確認法の開発)。
- (6) 大型 SG の多数伝熱管におけるリーアク管の位置的確認法の開発。
- (7) 伝熱管サポート構造の検討(スライド性とフレッシングの関係)。

最後に、1MW SG 試験室における今回の伝熱管リーアクは、幸か不幸か焼けて2回経験し、前述の様な貴重な情報が提供された。

リーアク当時は初めての経験のため、その措置にまごつくことが、佐野室長（現石川島播磨重工）はじめ室員全員の協力一致により、事故対処はスムーズに行なわれた。また、補修対策等に関しては FB 開発本部の鈴木部長をはじめ、日立製作所、日立工場の八巻課長他多くの関係者からの助言や協力によってなされた。さらに、実作業では同工場の小田部指導員のもとに困難な作業を短期間に完遂することができた。

なお、Na-水反応で生じた不純物のサンプル等はすべて当センター分析室の協力を得て分析していただいた。特に高筋室長代理には物質の性状等で各種の助言を頂くなど、多くの関係各位の協力を得ている。

ここに厚くお礼を申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 佐野：他 SN941-72-07 1972年7月
1MW 蒸気発生器試験報告書 (I)
静特性試験結果中間報告 (1/2)
- 2) 土屋：他 SN941-73-54
1MW 蒸気発生器試験報告書 III
不安定現象試験結果報告 (1/2) 1973年9月
(データのみ) (2/2)
- 3) 山田：他 N952-74-07
1MW 蒸気発生器試験施設運転記録
第1次 1MW 蒸気発生器試験 (1971-4-1972-4) 1974年7月
- 4) 金森：他 N941-74-29
1MW 蒸気発生器試験施設運転記録 1974年5月
- 5) 土屋：他
1MW 蒸気発生器試験報告書 (II)
静特性試験結果最終報告 1973年9月
- 6) 土屋：他 SN941-74-24
1MW 蒸気発生器解体洗浄工事報告書 1974年4月
- 7) 金森：他 SN941-74-24
1MW 蒸気発生器試験施設、電磁流量計の流量異状指示について 1974年1月
- 8) 桜間：他 ST202-73-21 (日立製作所受託研究) 報告
1MW 蒸気発生器材料試験統合報告書 1974年1月

⑨ 八木沢：他 SN952 74-10
1MW 蒸気発生器試験施設運転要領書 1974年7月

⑩ 保田：他 SN941 74-47

1MW 蒸気発生器試験施設 1974年8月

第2次1MW蒸気発生器運転報告書 (1)

⑪ 保田：他 SN942 74-06

1MW 蒸気発生器試験施設

コードトランプNa漏洩事故報告書 1974年7月

⑫ A.Kanamori et al "Leakage Experiences with 1MW Steam Generator
IAEA Study Group Meeting on Steam Generator for LMFBR'S
part3. Operating Experiences (1974)

⑬ 吉川, 土屋：「1MW 蒸気発生器試験施設の概要と試験結果について」

技術資料 動力炉技報 第12別刷 1974年11月

⑭ 熊谷, 富永：真空の物理と応用 物理学選書新華房 (1970)

⑮ 横井：他 小リーコナトリウム水反応試験研究第2報 リーク検出計の特性試験
1972年8月

⑯ S.A.Meacham et al "The Solubility of Hydrogen in Sodium"
APDA-241 1970

⑰ J.A.Coleman, Loop Evaluation of the APDA In-line Detector
for Hydrogen in Sodium APDA-252 (1970)

⑲ 山田：他 SN952 74-11
1MW 蒸気発生器試験施設

事務対策マニュアル 1974年9月

⑲ 石橋：他 SN941 75-70

大先工学センターにおけるコードトランプの現状 1975年7月

⑳ 渡辺, 佐藤：溶接力学とその応用 朝倉書店 1981年12月

㉑ 沢井, 川島：「高温における水酸化ナトリウム水溶液による腐食」

電気化学 第33巻 p444~451

㉒ 福井, 厚川：「ボイラににおけるアルカリ腐食について」

火力発電 Vol.11 No.6 p537~542

㉓ 中村：他 「高張力鋼のカセイソーダー水溶液中における耐食性」
日立造船技術 第26卷第1,2号 p33~40

㉔ 離賀：他 腐食鋼の耐アルカリ脆性

石川島崎技術報 第11巻 第1号 p12~20

㉕ 「ボイラの水管理」ボイラ技術講座6 40年6月 日本ボイラ協会編
共立出版社

㉖ 朝倉書店：鉄鋼工学講座一八巻 鉄鋼腐食科学
APDA事報書

㉗ 八木沢：他 SN941 75-57 1975年7月 "50MW 蒸気発生器解体洗
浄工事報告書"

㉘ 燃料航行, 蒸気発生器の開発の現状 50年度刷
Eichbeger の式を引用

㉙ SN941 75-92 から Eichbeger の式を引用

PNC TN941 76-54

30 D.R.Vissers, "A Hydrogen Monitor for Detection of Leaks in
LMFBR Steam Generators, Nuclear Technology, Vol.12 Oct
(1971) (p224 Fig4)

31) Liquid Metals Hand book Sodium and Nak Supplement June 67.
LMEO by O.T.Foust PNC 翻訳 第2章 化学

32 舟田：調査報告 液体ナトリウム中における炭素挙動 N942 75-01
1975年9月