

# 小リーク・ナトリウム・水反応試験研究

第 1 報

試験装置の概要

1972年8月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

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

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

1972年8月15日

## 小リーク・ナトリウム・水反応試験研究

### 第 1 報

#### 試験装置の概要

報告者 高速炉安全性試験室

根 井 弘 道

大 内 義 弘

大 島 巖

堀 雅 夫

期 間 1970年12月～1972年5月31日

目 的 小リークナトリウム水反応試験装置の概要と試験目的について報告する。

要 旨 小リークナトリウム水反応試験装置は、「もんじゅ」用蒸気発生器内でナトリウム中へ水がリークした時に隣接伝熱管壁上に発生すると考えられているウェステージ量を明らかにする事と、そのリークを早期に検出するためのリーク検出計の開発試験を目標にして建設された。本報告書はこの試験研究の第1報として、試験研究の目的と、装置の概要について述べてある。試験の結果については第2報に報告する予定である。

STUDIES OF SMALL LEAK  
SODIUM-WATER REACTIONS (1)

H. Nei  
Y. Ohuchi  
I. Ohshima  
M. Hori

ABSTRACT

Small leak sodium-water reaction test rig (SWAT-2) was constructed to estimate the extent of the tube wastage resulting from a small leak of water into sodium in "MONJU" type steam generator, and to develop the leak detectors.

In this report, the objectives of the experimental studies and the outline of the test rig are described. The test results are to be presented in the next report.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 試験目的 .....	4
2.1 ウェステージ .....	4
2.2 リーク検出計 .....	5
3. 試験装置の概要 .....	7
4. 試験装置各部の仕様と構造 .....	10
4.1 装置一般 .....	10
4.2 試験部系 .....	10
4.3 主循環系 .....	12
4.4 放出系 .....	12
4.5 供給ダンプ系 .....	13
4.6 純化系 .....	14
4.7 高圧水系 .....	15
4.8 計測・制御系 .....	16
4.9 予熱・保温 .....	16
5. リーク検出系の仕様と構造 .....	31
5.1 Na 中水素計 .....	31
5.2 連続式プラグニング計 .....	32
5.3 Ar 中水素計 .....	32
5.4 音響式検出計 .....	33
6. 装置の建設 .....	42
7. 結 言 .....	46
謝 辞 .....	47
参考文献 .....	47

## 図 表

図 1.	SWAT-2 フローシート	9
図 2.	SWAT-2 フローシート(詳細図)	17
図 3.	反応容器組立図	18
図 4.	反応容器概念図	19
図 5.	反応容器内部構造物	20
図 6.	組立後の反応容器上部	20
図 7.	水噴出ノズル	21
図 8.	主冷却器	22
図 9.	主加熱器	23
図 10.	分離器	24
図 11.	液封装置	25
図 12.	Na 供給装置	26
図 13.	コールドトラップ	27
図 14.	コールドトラップ充填金網	28
図 15.	加圧器	29
図 16.	制御パネル	28
図 17.	ダンプタンクの予熱ヒータ取付状態	30
図 18.	保温材ロックファインの施工状態	30
図 19.	Na 中水素計組立図	36
図 20.	Na 中水素計センサー	37
図 21.	Na 中水素計排気系ブロック図	38
図 22.	連続式プラグング計系統図	39
図 23.	Ar 中水素検出器系統図	40
図 24.	音響式検出計取付図	41
図 25.	装置鳥瞰図	44
図 26.	装置全景	45
表 1.	ウェステージに影響する諸因子	4
表 2.	SWAT-2 主要定格	8
表 3.	建設日程	43

## 1. 緒 言

高速炉を開発するうえで最も重要な問題点の一つは、蒸気発生器の信頼性にあると云われている。蒸気発生器は、Naと水のきびしい条件の下におかれるにもかかわらず、全く交換なしに使用されることが要求される。しかしながら、蒸気発生器の伝熱管が全く健全で、水がNa中にリークすることを絶無にすることは非常に困難である。従って、SGの製作上での信頼性を向上させる努力とともに、水のリークが発生したときどのような現象がおこるかを十分に検討しておかねばならない。

伝熱管中の高圧水がNa中にリークする現象は、その規模によって大リークと小リークに分けられる。大リークは伝熱管の1本以上がギロチン破断したような場合を云い、その結果発生するNa-水反応はきわめて大規模になる。Na-水反応の影響は、SGのかなり広い範囲にわたる。発生する圧力波の大きさをつかみ、その対策をつかんでおくことが必要である。これに対して、小リークは伝熱管の1本にクラック等が発生し、そこから少量の水が噴出する場合で、Na-水反応の影響はSGの局部的空間に限られる。しかしながら、小リークがある時間経続すると、Na-水反応による反応生成物のジェットによって隣接伝熱管が損耗を受け破損し、大リークが引き起こされる可能性があることがわかっている。従って、小リークが問題になるのは、小リークによって発生するNa-水反応それ自身よりも、2次的に大リークをひき起こすことにあると云える。

Na中に噴出した水のジェットによって隣接伝熱管が損耗を受ける現象はウェステージと呼ばれ、フェルミ炉のSGにおいて発見されて以来、APDAを中心にながりの実験がなされて来た。それによって定性的にはかなりわかって来たし、実験をおこなった範囲では、ある程度の定量的な推測もつくようになって来た。しかし、実験はかなり難しく、多くの労力と金を要するため、実験データの数は限られ、問題となっているパラメータですら、全部をカバーするにはいたっていない。

具体的にウェステージが問題になるのは次の様な点にある。第1に、小リークが発生してから大リークに至るまでの時間をつかみ、リーク検出計の応答との関係をつかむこと。第2は、リークの大きさと、ウェステージの起る空間範囲をつかみ、伝熱管の修理範囲をきめること。第3はウェステージに対して強い伝熱管材料を求めること。さらに、ウェステージが全く発生しないような小リークの範囲を求めることなどがある。この最後の問題は、ウェステージが発生しない小リークで、Na中の発生不純物がSG系統のコールドトラップで除去可能なら、放置しておいたらどうかと云う考えから、最近注目されて来た点である。

蒸気発生器において小リークの事故が、さげられないものとする、その検出をすみやかに確実におこなうことが最も重要となる。検出器として必要な応答時間はウェステージにより隣接伝熱管が破損し、大リーク事故になる前にしかるべき対策がとれると云う事から決められる。しかしながら、現在ほど実用化されていると考えられているリーク検出器は、この必要な応答時間よりかなり長い。また検出器の感度は実規模の蒸気発生器内で小リークが起きたときに比較的短時間にウェステージが発生する様なリーク率に対して検出できると云うことから決められる。特に短時間でウェステージが発生しない様な微少なリーク率の場合は、又別な方法、例えば通常のプラグング計等で検出することが可能となるから、当面開発が急がれている検出器とは別な問題となる。

ウェステージの起る空間範囲は現在までまだよくわかっていない。水ジェットが直接あたるノズルの近くが最もウェステージが起りやすいことは確かであるが、そこからかなり離れた伝熱管上にもウェステージが発生することがある。直撃したジェットが反射して2次的にぶつかった伝熱管上にウェステージがみられることがある。むしろ2次伝熱管上のウェステージの方が直撃をくらった伝熱管より大きいこともある。さらに伝熱管によりジェットに対して、影になった点にもウェステージが発生することがある。大体の傾向としては、ウェステージの最も激しくなるのは水噴出孔からある距離だけ離れた点で、それより近くとも遠くとも、ウェステージは小さくなる。この最もウェステージが激しくなる距離を決める要因をみつけることが急務となっている。

現在蒸気発生器の伝熱管材料としては、2+Cr-1Mo鋼が考えられているが、ウェステージに対しては18-8ステンレス鋼にくらべて著しく弱い、従ってウェステージに強い材質と云う事だけから考えるとステンレス鋼の方がすぐれている。伝熱管材質を決定するにはもっと他の重要な条件を考慮しなくてはならないが、その重要な条件を満足し、かつウェステージに強い材質があれば、それを採用することも当然考えられよう。

小リークNa-水反応の実験はAPDAで早くから精力的におこなわれ、その結果は詳細に報告されている<sup>(1)</sup>。しかし、1971年以後、実験は打切られている。これは実験が完了したと云うより、AECからの資金援助打ち切りによるものである。ソ連では、水リーク率の小さい場合の実験が重点的におこなわれている<sup>(2)</sup>。これによるとリーク率が14 gr/h程度に極端に小さい場合もコロージョン(彼らはウェステージをコロージョンと呼んでいる)が発生している。UKAEAでも若干のウェステージのデータが出されている<sup>(3)</sup>。ドイツ、イタリアでは現在実験装置製作中である。

国内では日立において静止Na中でのウェステージの実験がおこなわれている。これら、内



外の実験と関連した研究内容はほとんど機械学会から出された調査報告書にまとめられている(4),(5),(6)。

これらの調査や 1971 年ソ連でおこなわれた Na - 水反応に関する専門家会議に出された意見等により、小リーク Na - 水反応現象はまだ未知の点が多く、今後もっと力を入れて研究をおこなうべきであることが結論づけられている。

本報告書は以下具体的に述べる試験目的のもとに製作された小リーク Na - 水反応試験装置 (SWAT-2) の概要について記したものである。

## 2. 試験目的

本試験装置の試験目的は原型炉「もんじゅ」用蒸気発生器を対照とし、そこで小リーク Na-水反応が発生した場合の隣接伝熱管上の損耗の発生状況、破損が伝播するまでの時間等をつかむことと、伝熱管の破損伝播を防止するためのリーク検出計の開発試験をおこなうことである。

### 2.1 ウェステージ

蒸気発生器内で発生する小リーク Na-水反応によるウェステージに影響すると考えられる因子は極めて多い。従来から考えられている因子は表 1. に示されている。当然これらの因子は複雑に影響し合っていて、別な因子がかかわれば、その因子の影響のしかたも変って来る。その場合、別な因子の影響のしかたが多少なりともわかっているもの、又は実験されているものは、表中、パラメータとしてあらわしてある。

表 1. ウェステージに影響する諸因子

諸 因 子		ウェステージ(W.)に対する影響	パラメータ
水リーク率	G	あるGの値でW. が極大になる。	D, L
ノズル径	D	極めて大きな影響がある。	L
ノズルターゲット間距離	L	適当な値の時にW. が大きくなる。	D, G
ノズル形状		ジェットの散乱に影響する。	
ターゲットのかたむき	$\theta$	接線方向にぶつかった時の方がW. が大きいと云う結果もある。	
水圧力	P	Gに影響するだけと考えられる。	
水温度	$T_w$	実験範囲がせまくまだ不明	
蒸気状態		蒸気の方が水よりW. 大	G, L, D
Na 温度	$T_s$	$T_w$ と同様	
Na 流速	V	静止よりある流速がある方がW. 大	
Na 液面からの深さ	H	影響ない。	
ノズルから水の噴出方法 (ラブチャ板, ギロチン法等)		ジェットの散乱に影響し, W. の形状に影響する。	
ターゲット材質		不銹鋼はクロモリ鋼よりW. 小	
伝熱管内の流体		影響ない。	
水噴出時間	t	よくわかっていない。	G

これらの因子の影響をすべてカバーすることはほとんど不可能に近いので、当面は原型炉用SGで起ると考えられる条件に限る。これにより多少の範囲はあるにしろ、水圧力、水温度、Na温度、Na流速等はほぼ一定としておさえることができるので、パラメータ範囲がせばまる。さらにNa液面からの深さは影響ないとみなし、適当な値をとり一定とする。ターゲット材質は当面2+Cr-1Mo鋼に限ることとする。ノズルからの水の噴出方法は、ラプチャ板を水圧で破る方法とし、特に問題が起らない限り、一定の噴出方法に統一する。ノズル形状も、伝熱管として考えられている厚みの壁に真円状の孔があいた場合を想定した形状に統一する。ホリーク率とノズル径は、水圧力をほぼ一定にすると、一方が決まれば他方は必然的に決まって来る。ノズルターゲット間距離は、一応原型炉用SG内で考えられる範囲に限ることとし、その後、ウェステージが最も大きくなる条件をみつける為に距離を変えた実験をおこなうこととする。

ターゲットのかたむきは、伝熱管の表面にジェットがいろいろの角度であたることが考えられるので、重要な試験パラメータとする。蒸気条件としては、水と蒸気の違いをみる目的で、各々1点ずつ、これもSG内で発生する条件を採用する。水噴出時間は完全な独立変数であるので、同時に試験するリーク検出計の方からの要求により決めることとする。

以上の事より、当面目標とするウェステージを調べるためのパラメータは、ノズル径、ノズルターゲット間距離、ターゲットのかたむき、蒸気条件、および水噴出時間である。各々基準の条件を決め、その前後1,2点計3ないし5点とり、その和の数だけ実験データをとる事を目標とする。

## 2.2 リーク検出計

リーク検出計として現在考えられているものには、大別するとカバーガス中検出器とNa中検出器及び音響式検出器がある。その各々につき種々の型が試作され、試験されているが、いずれにしろ、それら3種の検出器には一長一短があり、実際のSGにおいてはそれらを組合わせて使用し、総合的な判断のもとにリーク検出をおこなうことになるものと考えられる。従って我々も、その三者を平行して開発し、本試験装置にとりつけ、同時に試験することにより、総合的な判定を下すことまで考えることにした。

カバーガス中検出器としては、パラジウム膜を通して真空中に水素を拡散させ、真空度の変化から読みとる型のものを開発した。

Na中検出器としては、Ni膜を通して真空中に水素を拡散させ、質量分析計のイオン電流の変化から読みとる型のものを開発した。

この両者の検出器の感度，応答時間は，原型炉級のユニット型のSG，RH（再熱器）にとりつけた場合に，破損伝播を防止するのに要求される性能を計算した結果から決定した。<sup>(7)</sup>

Na中検出器としては，他の検出計をバックアップする意味と，少量の水が長時間リークするような場合の検出を目標とし，連続式のプラグング計をとりつけた。

音響式検出計としては，まずSGの外部からの検出を目標とし，容器壁にとりつける型の加速度計と，通常のマイクロホンを使用し，リーク率等と音のレベル及び周波数との関係をつかむ事を目標とした。Na中の音響計として，高温に耐えるピエゾ式検出器をとりつけ試験する。

### 3. 試験装置 (SWAT-2) の概要

SWAT-2は「もんじゅ」用蒸気発生器の伝熱管で水の小リークが発生したときの状況を模擬するため、自由液面をもった反応容器の中をナトリウムを流し、その中の伝熱管群の1本から水を噴出させ、隣接伝熱管にウェステージをおこさせるようになっている。従って自由液面上に出て来る水素をカバーガス中で検出する型のリーク検出器と、蒸気発生器を出て来た流動ナトリウム中の溶解水素を検出する型のリーク検出器との試験ができるようになっている。

装置のフローシートの概略を図1に示す。装置は大別すると主循環系、高圧注水系、放出系、純化系、ドレンドンプ系、およびリーク検出系等からなっている。

主循環系は試験部の温度、流速を制御するための、加熱器、冷却器、電磁ポンプ、電磁流量計、流調弁等から構成され、すべて遠隔でコントロールできる。

高圧注水系には、水の加圧器、その加圧およびカバーガスとしての窒素ガスライン、水噴出停止後ノズル部と噴出管を保護するためのアルゴンガスライン、さらに隣接ターゲット管破損を確認するためのターゲット管封入窒素ガスライン等がある。

反応容器はウェステージ試験後交換が容易なように、ナトリウム流入管、水注入管、窒素ガス管、その他反応容器内部の計装等すべて、ターゲット管群をつるしたフランジ付の上部鏡板から中に入れられる構造となっている。

放出系は反応容器からラブチャディスクまたはバルブを通して分離器に入る反応生成物放出ライン、分離器からラブチャディスクと逆止弁とを通して外気に出る水素ガス放出ライン、および流動パラフィンの入った液封装置を通して放出するラインとからなっている。

純化系は水注入により大量のナトリウム不純物ができることを考慮し、純化容量を大きくしてある。さらにコールドトラップの内部をとり出し、再生できるようにフランジ構造になっている。また、純化系のみを主循環系とは別にナトリウムを循環させ、温度をあげて、たまった不純物を溶解させてから、ドレンできるようになっている。

装置の主要な定格を表2に示す。

リーク検出系の目標性能は下記の如くである。

(1) Na 中水素計

〔感度〕 Na 中水素濃度 0.1 ppm

〔応答時間〕 主配管分岐点一指示計 20秒

(2) Ar 中水素計

〔感度〕 Ar 中水素濃度 1 ppm

[ 応答時間 ] ベーパートラップ出口—指示計 5 秒

(3) 音響計

[ 感度 ] リーク率  $10^{-4}$  kg/sec

[ 応答時間 ] ゼロ

表 2. S W A T-2 主要定格

<b>1. 一般</b>		<b>4. 放出系</b>	
Na 温度	最高 540 ℃	反応生成物分離器	
Na 流量	最大 300 ℓ/min	型式	円筒型、サイクロン式
Na 主循環系設計圧	10 kg/cm <sup>2</sup>	設計温度	350 ℃
反応容器設計圧	30 "	圧力	10 kg/cm <sup>2</sup>
純化系圧力	7 "	大きさ	500φ×1200H
噴出水温度	最高 540 ℃	材質	SB42
噴出水圧力	200 kg/cm <sup>2</sup>	予熱, ドレン, カバーガス付	
高圧系ガス系圧力	" "	液封装置	
噴出水総量	最大 18 kg	型式	円筒型
目標噴出水流量	$0.5 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-1}$ kg/s	使用温度	最高 350 ℃
<b>2. 試験部系</b>		使用圧	常圧
反応容器寸法	400φ×2200L	大きさ	300φ×1000H
水噴射管ノズル構造	ラプチャ板 破裂方式	封液	パラフィン油
ターゲット管	27.2φ, ピッチ40, チドリ目配列	ブラチャーディスク	
内装フィルタ	金網多層重ね方式	破裂圧 入口側	3 ± 0.3 kg/cm <sup>2</sup> g
サーモカップル	0.3mmφ 10本	出口側	1.5 ± 0.15 "
ボイド計	1.4mmφ 10本	放出弁口径	1 B
<b>3. 主循環系</b>		<b>5. 供給ダンプ系</b>	
口径	2 B	ダンプタンク型式	横置円筒型
弁	空気作動, 開度指示	Na 総量	1300 kg
電磁ポンプ, 型式	AC, フェラデー型	<b>6. 純化系</b>	
流量	300 ℓ/min	コールドトラップ	
冷却器, 型式	フィン付管空冷	型式	フランジ付
容量	30 KW	内容積	約180 ℓ
主加熱器, 型式	電気加熱	流量	最大 35 ℓ/min
容量	30 KW	口径	3/4 B

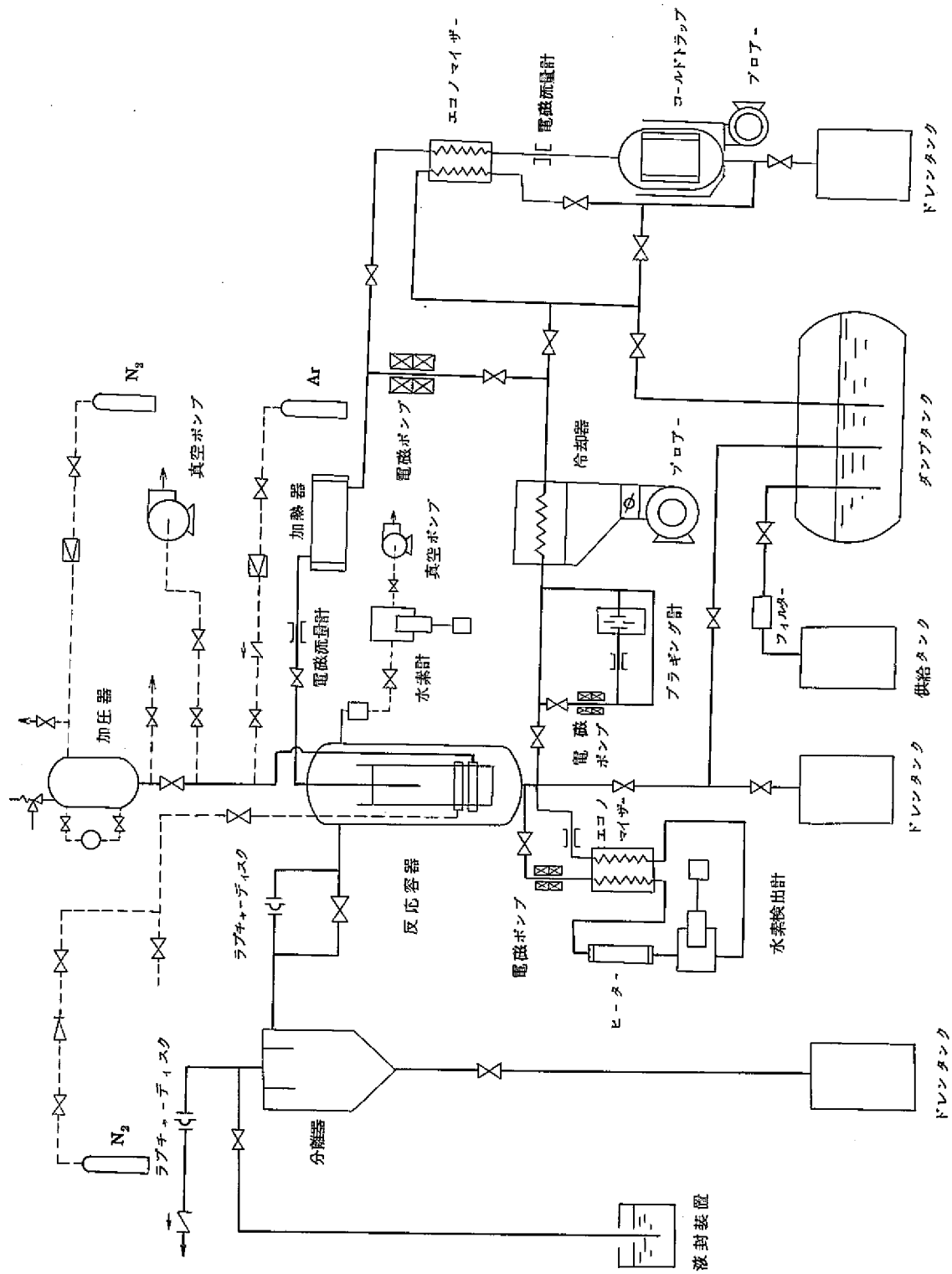


図1 SWAT-2 フローシート

## 4. 試験装置各部の仕様と構造

### 4.1 装置一般

装置全般に関する設計仕様として次の様な点を原則とした。

#### (1) 装置予熱

Na 系統は特別な部分以外は Na を充填しない条件下で 20℃ から 350℃ まで 8 時間以内に予熱できること。

#### (2) 装置構成材料

特に必要とする部分以外は Na に接するところの材料は SUS 27 とする。

#### (3) Na 温度調節

200℃ で主循環系に充填された Na を 350~540℃ の任意の試験温度まで予熱し、一定に保つ。これには 200℃ から 540℃ まで 2 時間以内に昇温出来ること。また主循環系冷却器はポンプの最大出力運転時は主循環系統の Na 温度を一定に保つに十分な冷却能力を有すること。

#### (4) Na 系弁

Na 系統の弁はすべてベローシールとすること。

#### (5) 装置運転

装置の定常運転中および Na - 水反応試験中は、装置の運転、制御は原則としてすべて制御室から行なえるように、弁、ポンプ、ヒータ、ブロワ等の作動を遠隔操作方式とし、また計測は電気信号に変換して制御室にて指示、記録を行なわせるよう設計すること。必要に応じて現場指示を設けること。

装置全体の詳細なフローシートを図 2 に示す。

### 4.2 試験部系

試験部系は反応容器、水噴射管、ターゲット伝熱管群、内装フィルター、ベーパーラップ等から構成されている。その細部構造は以下の仕様を満足するように設計されている。

(1) Na - 水反応によるウェステージ試験が確実、容易、かつ安全に実施し得ること。

(2) 反応容器内の Na 保有量は 100~200 lit として水注入による Na 純度の急速低下を緩和させ、かつテストセクション部にて主循環系 Na 流量 300 l/min の状態で Na 流速 0.35 m/sec (ただし、水噴出管、ターゲット伝熱管群がない状態で) を保てる構造とすること。



(3) 反応容器は上下二つ割り堅型円筒容器とし、テストセクション部およびそれに係わる装置、部品類は全て容器上側部分に装着して、組立、洗浄などの操作を容易にならしめる構造とすること。

製作された反応容器の組立図を図 3 に示す。Na は自由液面を有し、その上部から流入し、底部から流出する。ターゲット管部において Na 流速を大きくするため、流路は 100×140 mm の矩形壁でかこまれている。ターゲット管群の下部にフィルター（30メッシュの SUS 27 金網）があり、Na-水反応後の固体生成物の主循環系への流入を防ぐ構造となっている。反応容器にとりつけられたノズルは、Na 出入管の他に 6 インチの放出系配管、カバーガス系配管、カバーガス水素検出計配管などが主なものである。

ターゲット伝熱管のうち 3 本は破損時点をつかむ目的で、内部に窒素ガスを導入しておき、その圧力を監視する構造になっている。反応容器にとりつけられている計装は下記の通りである。

温度計	ウェル付熱電対	4 点
液面計	連続式	1 点
	接点式	3 点
Na 中圧力計	NaK 封入型ブルドン管式	1 点
音響計	加速度型	1 点
	Na 中音響計	1 点

反応容器の概念図を図 4 に示す。図 5 は反応容器の上蓋とそれに吊られている内筒その他の内部構造物の外観写真である。図 6 は組立後の反応容器上部附近である。

高温 Na 中に任意の時点に、適当な条件の高温高圧水を、任意の量だけ注入し、しかも噴出水ジェットが軸対称で散乱の少ないきれいな形になるようにする技術はかなり難しい。APDA、その他のところでおこなわれている方法は、細管をカッターでギロチン破断し、その内部の高温水を内径によって規定されるリーク率で噴出させる方法である。この欠点はノズルの破断孔がゆがむ可能性が大きい事である。我々の採用した方法は、ノズルの前面においたラプチャ板を水自身の圧力で破り、かつラプチャ板によってノズルからの噴出流が邪魔されないようにする噴出方法である。ノズルと加圧器との間の注水管の途中に空気作動弁をおき、その開閉により、任意の時間だけ加圧器内の高温水を注入できるようになっている。この注入弁は図 2 にみるように、2 個の弁（V-707, V-708）をシリーズにつけ、弁座からのリークにより注入管内の圧があがり、不測時にラプチャ板が破裂する危険性を薄めている。

図 7. に水噴出ノズルの構造を示す。ノズル径  $d$  は実験条件により 0.3mm ないし 1mm 程度の範囲で変化させる。ノズルの長さ（径  $d$  の部分の奥行）は SG の伝熱管の壁厚を基準にして適当な値をとる。ラプチャ板は 0.02mm の SUS 27 の薄板で、水圧が加わった時にラプチャ板押えにより径 2mm の円板状に破れ、水ジェットを邪魔しないようになっている。ラプチャ板はラプチャ板押えと一緒にノズルにビーム溶接されている。

### 4.3 主循環系

主循環系は、試験部において最高温度 540℃ の Na を最大流量 300ℓ/min で流れるようにするために、主循環系配管、流量調整弁、主循環ポンプ、流量計、冷却器、加熱器等から構成されている。

主循環ポンプは AC ファラデー型の電磁ポンプで定格流量 300ℓ/min、圧力 3 kg/cm<sup>2</sup> である。流量制御を自動的におこなうために、流量計の指示値を使い偏差指示調整計で、誘導電圧調整器の出力を調整している。Na 温度は 540℃ まで使用可能である。電磁ポンプにはコイル冷却用のブロワ、ダクト予熱用のシーズヒータ等がついている。

主循環系流量計は永久磁石式の電磁流量計で定格出力は 400ℓ/min である。

主冷却器は、定格運転時に電磁ポンプなどからの熱により主循環系の温度が上昇するのを防ぐ為と、高温運転より低温運転またはドレンに移るのを容易にするためにもうけられている。定格容量は 30 kw で、フィン付管空気冷却式である。冷却量はブロワのダンパ開度により調整する。予熱はフィン付管の下に配列されているシーズヒータからの対流伝熱によりおこなわれる。図 8. は主冷却器の図面を示す。

主加熱器は定格 30 kw で、そのうち 15 kw は手動で ON, OFF し、残り 15 kw を主循環系の温度が設定値になるように SCR で自動調整するようになっている。予熱はシェル外筒にそわせたシーズヒータにておこなう。図 9. は主加熱器の構造を示した図面である。

主循環系配管及びそれにつながったドレン、チャージ配管は 2B sch 10 S, SUS 27 である。主循環系の流調弁は空気作動のベローシールバルブである。その他 Na 弁はすべてベローシールバルブを使っている。

### 4.4 放出系

放出系は試験部における Na-H<sub>2</sub>O 反応による気体、主として水素ガスを大気に安全に放出するため、Na および液状、固体状反応生成物を分離し、気体のみを液封装置または逆止弁を通して屋外へ放出する系統である。

反応生成物分離器は、反応容器内の全 Na が飛んで来ても、気体と液体又は固体とを分離出来るだけの容量をもち、遠心力を利用して気体のみを分離する。設計温度は 350℃、設計圧力 10 kg/cm<sup>2</sup>である。図 10. に分離器の構造を示す。

反応容器と分離器とは 6 インチの配管で結ばれていて、途中で破裂圧 3 kg/cm<sup>2</sup> G のラブチャディスクが入っており、通常は反応容器と分離器とを隔離するようになっている。図 2. にみるように、このラブチャディスクをバイパスする回路があり、水素の放出量が少ない時はこの回路を通して放出する。

分離器からのガスは V-302 を通って液封装置 (Air Seal, T 302) から外気に逃がされる。液封装置はパラフィン油が満されていて、大気が分離器の方に入りこまないようになっている。パラフィン油の液面は連続式液面計で制御室から監視できる。図 11. に液封装置の外観を示す。

分離器から液封装置に到る配管は 1B であり、ここからガスを逃がしきれない場合は 6B の配管を通り破裂圧 1.5 kg/cm<sup>2</sup> のラブチャディスクを破って外気に放出する。この大気の放出口には逆止弁と水素ガスの点火装置がとりつけられている。

分離器出入口のラブチャディスクには圧力計が破裂圧になったときに「ラブチャディスク破裂」と云う警報が出るようになっている。反応容器から分離器まではすべて 350℃ まで予熱できるようになっている。

#### 4.5 供給ダンプ系

ダンプタンクは、装置に必要な全 Na 量を貯蔵出来る。ループにチャージするに必要な Na 量は約 600 lit であるが、水注入により Na がよごれることを考慮し、全体の不純物濃度が上らないようにするためと、よごれた Na を装置外にとりだしても、その都度 Na をチャージする必要をなくするようにするため、全 Na 量は 1300 lit を定格とした。ダンプタンクの昇温は安全上の考慮から内そうのヒータは使わず、すべて外壁にそわせたシーズヒータにておこなうようにした。さらに万一の場合を考慮して、ダンプタンクの下には全量の Na を収容できる受皿がもうけられている。

ドラムかんの Na を溶解し、ダンプタンクにチャージするための Na 供給装置として図 12. の様なものを製作した。ドラムかん加熱用ヒータは 15 kw のバンドヒータと保温材が一体となったもので、ドラムかんへの着脱が容易にできるようになっている。ドラムかんにはサイホン管が挿入され、ドラムかんのカバーガス圧とダンプタンク内の圧との差により Na がチャージされる。サイホン管とダンプタンク上部とは、3ヶ所で自由に回転する特殊なユ

ニオン継手をもつ配管で接続されている。この継手部は Na がたまることなく、また取りはずしができ、容易に洗浄し再使用できるような構造になっている。

反応容器，分離器，コールドトラップはおのおの Na を直接ドレンし，装置外に Na を取り出せるようなドレンラインとドレンタンクがついている。このドレンタンクは現在のところ Na 輸送用のドラムかんを使っている。

ダンプタンクからループへの Na チャージは，ループからダンプタンクへドレンするドレン配管からおこなう。ループの主要な部分はすべてダンプタンクにドレンでき，ドレン弁は緊急時を考え空気作動の遠隔操作弁になっている。

#### 4.6 純化系

本試験装置の様に実験ごとに Na 中に水を注入し，Na をよごす一方，水素計の試験をするため，Na 中の不純物濃度のバックグラウンドを低くおさえておかなければならない装置の純化系の役割は極めて重要である。

純化能力としては，ループ内の Na 中の酸素濃度を 10,000 ppm から 30 ppm まで，5 時間以内に精製出来ることを目標とした。またコールドトラップの再生ができるように，解体組立が容易な構造であることをねらった。

製作されたコールドトラップを図 13. に示す。全容積は約 250 lit，金網部容積は 195 lit である。金網部  $1\text{m}^3$  当りの  $\text{O}_2$  捕獲量 148 kg とし，<sup>\*</sup> 捕獲効率 15% とすると，酸素補獲量は 4.31 kg，23% とすると 6.62 kg になる。一方，10,000 ppm から 30 ppm まで下げた場合析出する酸素量は全 Na 量を  $0.55\text{m}^3$  として 4.92 kg である。

コールドトラップ内の Na の流れは，上部側面から入って最下部から出る下向流れである。金網は上部の鏡板にぶらさがっていて，フランジをはずすことにより引抜ける。フランジはシール溶接され，かつ Na が外部に万一リークする場合を考慮して，受け皿が本体にとりつけられている。金網は SUS 27, 30 メッシュで，充填率  $0.2\text{kg}/\ell$  である。充填した金網の外観を図 14. に示す。

コールドトラップの不純物充填を効率的におこなうため，内部に適当な温度分布ができるよう，外壁の予熱ヒータは 5 段にわかれている。冷却空気は下部から上部に流れ，コールドトラップの出口が最も低く，かつ任意の温度に制御できるようになっている。

\* ) 金網部  $1\text{m}^3$  当りの酸素捕獲量

単位容積当り Trap される  $\text{Na}_2\text{O}$  量の実験データは<sup>(8)(9)</sup> 約  $0.02\text{lb}/\text{in}^3$  である。これを換算すると酸素量にして  $148\text{kg}/\text{m}^3$  となる。

コールドトラップを再生する方法として、反応容器側の主循環系の Na をドレンした後、純化系側だけをポンプで循環させ Na の温度をあげて、トラップされている不純物を溶解してから V-404 を開けドレンタンクにドレンする事も出来るようになっている。

#### 4.7 高圧水系

反応容器内の試験部に送りこむ水は、加圧器内で最高  $200 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ,  $540^\circ\text{C}$  にすることができるようになっている。最大注水量は  $1.8 \text{ kg}$  で設計されている。加圧器内容積は  $8 \text{ lit}$  である。加圧器は図 15. にみる様に上下二つ割りにになっている。パッキンは銀メッキされたインコネル製中空 O リングである。

加圧器内の液面は、ガラス窓付の直視式液面計と差圧式遠隔指示の液面計とによって測られる。注水量は注水前後の液面差、加圧器にチャージした水量と試験後ドレンした水量との差、さらには過熱蒸気の場合には注水前後の加圧器内の温度圧力からの計算値等によって求める。加圧器には外壁にそわせた外装ヒータと上部から入れた内装ヒータがあり、前者は加圧器外壁の温度によって制御し、後者は加圧器内圧力によって制御するようになっている。常圧より最高温度、圧力条件の水または蒸気を得る所要時間は 4 時間以内である。

高圧水の噴出による加圧器内の圧力低下は、加圧器圧力バックアップ配管 (V-711 のライン) からの窒素ガス圧により補充するようになっている。

加圧器から反応容器へ到る水注入管はバルブ V-707, 708 を閉めた後、管の中に残る水の量を少なくするため、 $\frac{1}{4}$  インチ (外径  $6.35 \text{ mm}$ , 内径  $3.175 \text{ mm}$ ) の SUS 32 のパイプを使ってある。このライン及びこれと接するバルブ, V-704, 706, 707, 708 等はすべてヒータにて、注水温度と同じ温度まで予熱できるようになっている。注水試験後、ノズルから Na が注水管に逆流してくるのを防ぐため、注水管の圧力が設定値よりさがった時に自動的に V-704 が開放し Ar ガスが流入するようになっている。

ウェステージの発生状況を調べるターゲット伝熱管には、あらかじめガス圧を加えておき、ウェステージにより破損孔があいた瞬間をつかむことができるようになっている。又、このターゲット伝熱管の圧力降下により自動的に注入管の V-707, 708 が閉じる様なインターロックをかけることができるようになっている。

水注入時間はタイマーにて自動的に V-707, 708 を閉めることにより、規定できる。その他 V-707, 708 の開閉には安全のため、種々のインターロックがかかっている。

#### 4.8 計測・制御系

Na 中の連続式液面計は EEC 製で、誘導型プローブをステンレス製ウェルの中に挿入して測定する。最高使用温度、圧力は  $700^{\circ}\text{C}$ 、 $1.25\text{ kg/cm}^2$  である。仕様書によると、リニアリティ 2%、精度 5% 以上となっている。

Na 中のレベルスイッチは MAPI 製で、抵抗式プローブが直接 Na 中に入るようになっている。レベルスイッチ検出端には定電流が供給されていて、電流は、Na が接していないときは検出管を、Na が接しているときは検出管と Na・取付容器等を並列に流れる。この両状態を増巾してスイッチング回路を動作させる。最高使用温度は  $600^{\circ}\text{C}$  となっている。

反応容器及び主循環系電磁ポンプ出口には Na 中の圧力計がとりつけられている。Taylor I. 社製の NaK 封入型である。

運転中常時監視の必要がある計器、水注入実験に必要な計器及び遠隔操作スイッチ等はすべて制御室にあつめられている。図 16. は制御室のパネルの一部である。

予熱ヒータの温度制御はすべて 1 台のスキヤニングコントローラでおこなうようになっている。スキヤニングコントローラは 96 チャンネルで、それを 3 ブロックにわけ、各ブロックごとに上下限温度設定と警報設定が出来る。スキヤン速度は 1 点 1 秒である。又、任意のチャンネルの温度をデジタル計に呼び出せる。

装置の温度、圧力、液面、流量、バルブの開閉等ほとんどすべての信号は高速度データ集録装置に入れられるようになっている。特に水反応実験の際の重要な信号はデータロガーに一括記録する。データロガーは YHP 製で、マルチプレクサー、可変ゲイン増巾器、AD 変換器、計算機、磁気テープ記録装置、テレタイプ等で構成され、 $\pm 10\text{ mV} \sim 100\text{ V}$  の電圧信号 64 点を、最高  $8000\text{ 点/秒}$  でデジタル記録できる。データロガーに入れる熱電対はノイズが入らないよう、ダブルエレメントのシーズ熱電対を使い、通常計器へ行く信号とはセンサー部からわかるようにした。

#### 4.9 予熱、保温

Na 系機器、配管の予熱は、ほとんどの部分につき、外径 8mm の比較的太いシーズヒータを使用した。予熱温度は最高  $350^{\circ}\text{C}$  とした。ヒータの表面熱流速は  $1.5\text{ W/cm}^2$  以下とした。バルブの予熱ヒータはヒータのボックスを作り、両側からだくような形式にした。

保温材は旭石綿製ロックファインを使用した。保温材表面温度は  $60^{\circ}\text{C}$  以下を設計基準とした。

図 17. はダンプタンクの予熱ヒータの取付状態を示す。図 18. は純化系二重管式熱交換器部の保温の施工状態を示す。

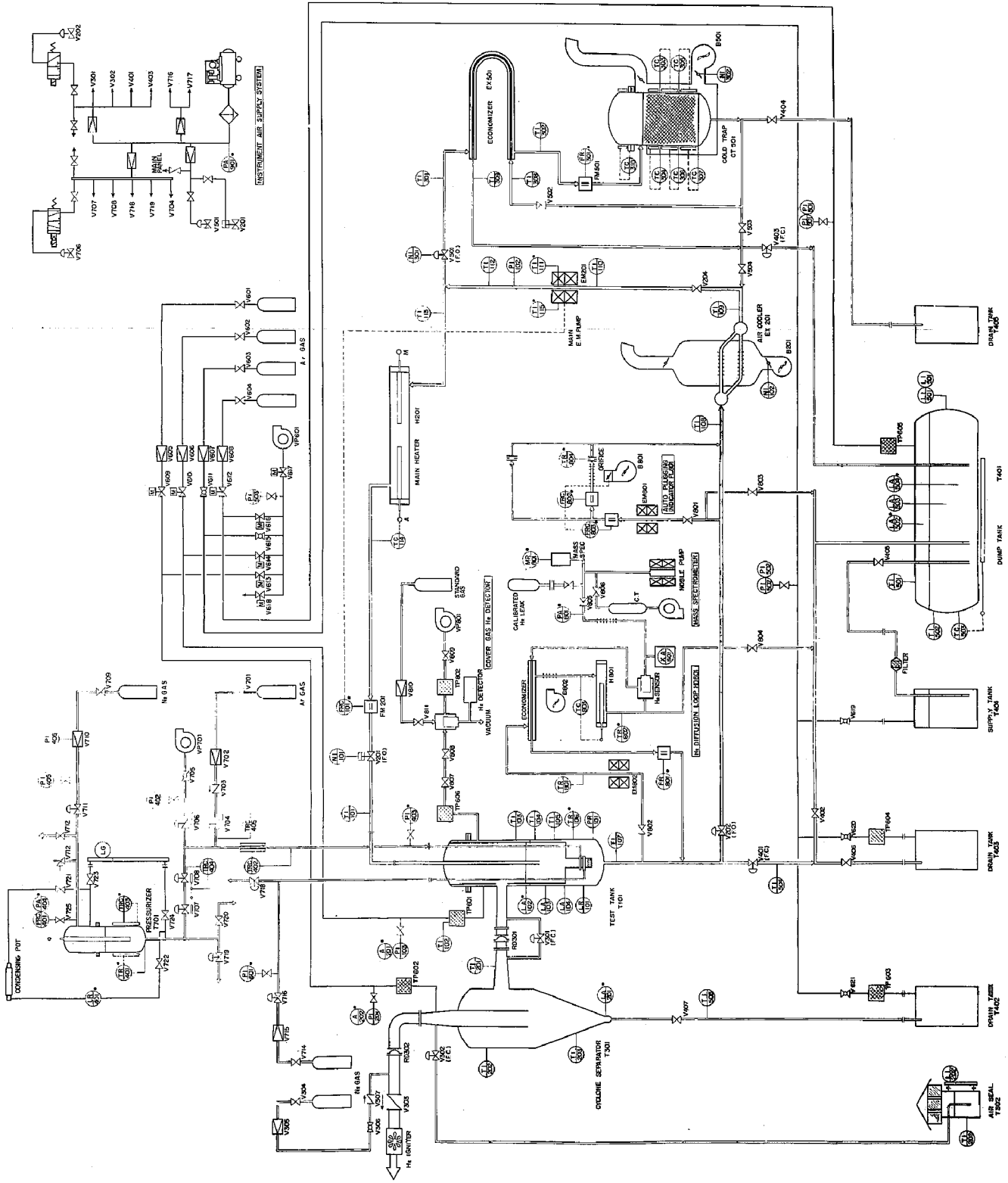
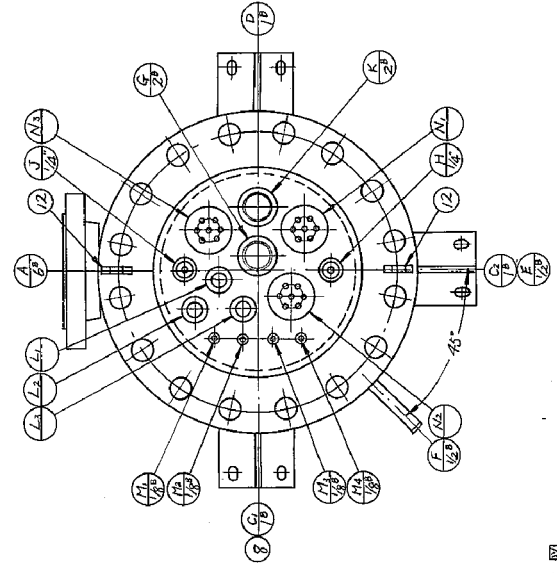
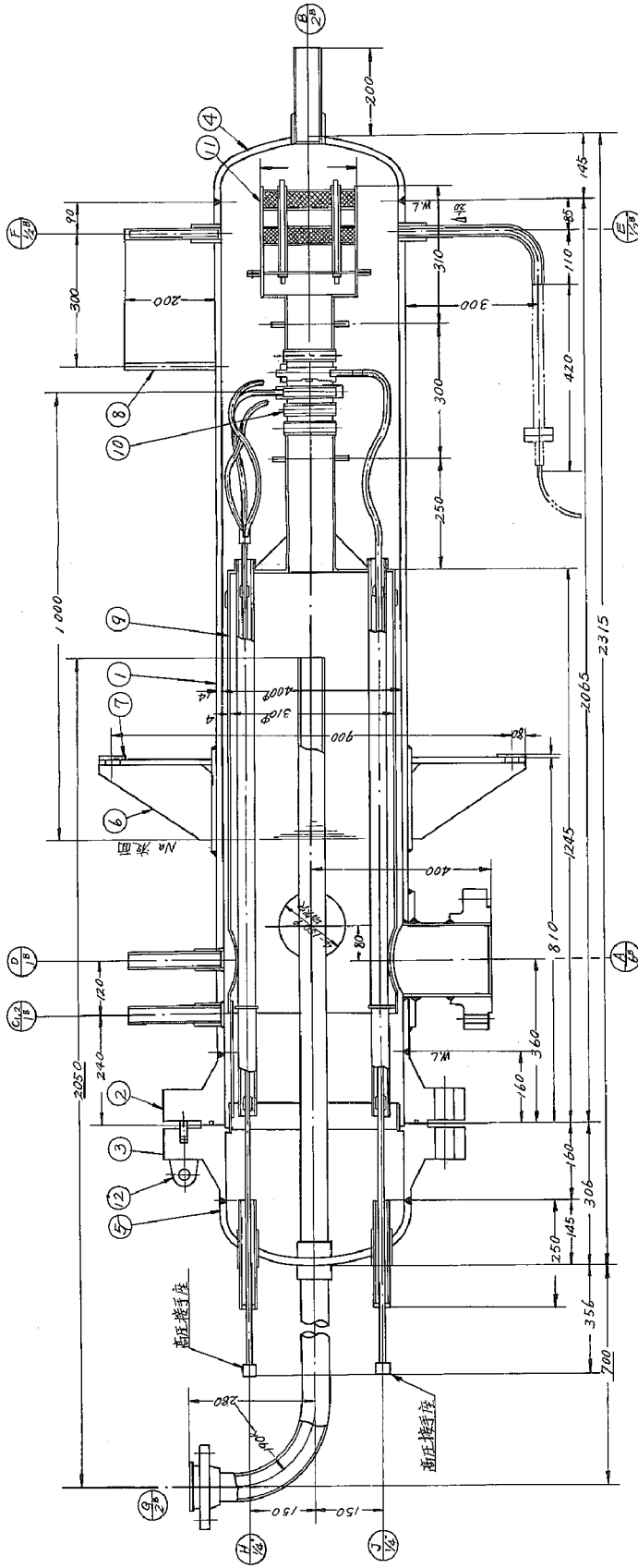


図 2 SWAT-2 フローシート (詳細図)



表

番号	品名	寸法	材質	数量	備考
A	TO分離器	φB	SUS27TP	1	1/2Sch/05
B	Na出口	2φ	"	1	2Sch/05
C	TO蒸気トランプ	1φ	"	2	1/2Sch/05
D	TO分離器	1φ	"	1	1/2Sch/05
E	NAKJ/計取付口	1/2φ	"	1	1/2Sch/05
F	NaK圧力計取付口	1/2φ	"	1	1/2Sch/05
G	Na入口	1/4"	"	1	2φSch/05
H	Na供給口	1/4"	"	1	φ1/4×1/4
J	水注入口	1/4"	"	1	φ1/4×1/4
K	連続式液面計管台	2φ	SUS27TP	1	2φSch/05
L	レベルスイッチ取付口	1/8φ	SUS27	3	1/4Sch/05
M	線電対保護管	1/8φ	SUS27TP	4	1/4Sch/05
N	ホィド計取付口		SUS27	3	

番号	名称	材質	数量	備考
1	本体	SUS27	1	14t
2	本体フランジ	SUS13	1	
3	蓋フランジ	SUS13	1	
4	鏡板	SUS27	1	1450409 主材料
5	鏡板	SUS27	1	"
6	脚座	SUS27	1	9t
7	遮熱材	硬質石棉	4	5t
8	音響式検出端	SUS27	1	16φ
9	閃光管	SUS27	1	
10	閃光管	SUS27	1式	
11	閃光管	SUS27	1式	
12	リフレクター	SUS27	2	14t

図3 反応容器組立図



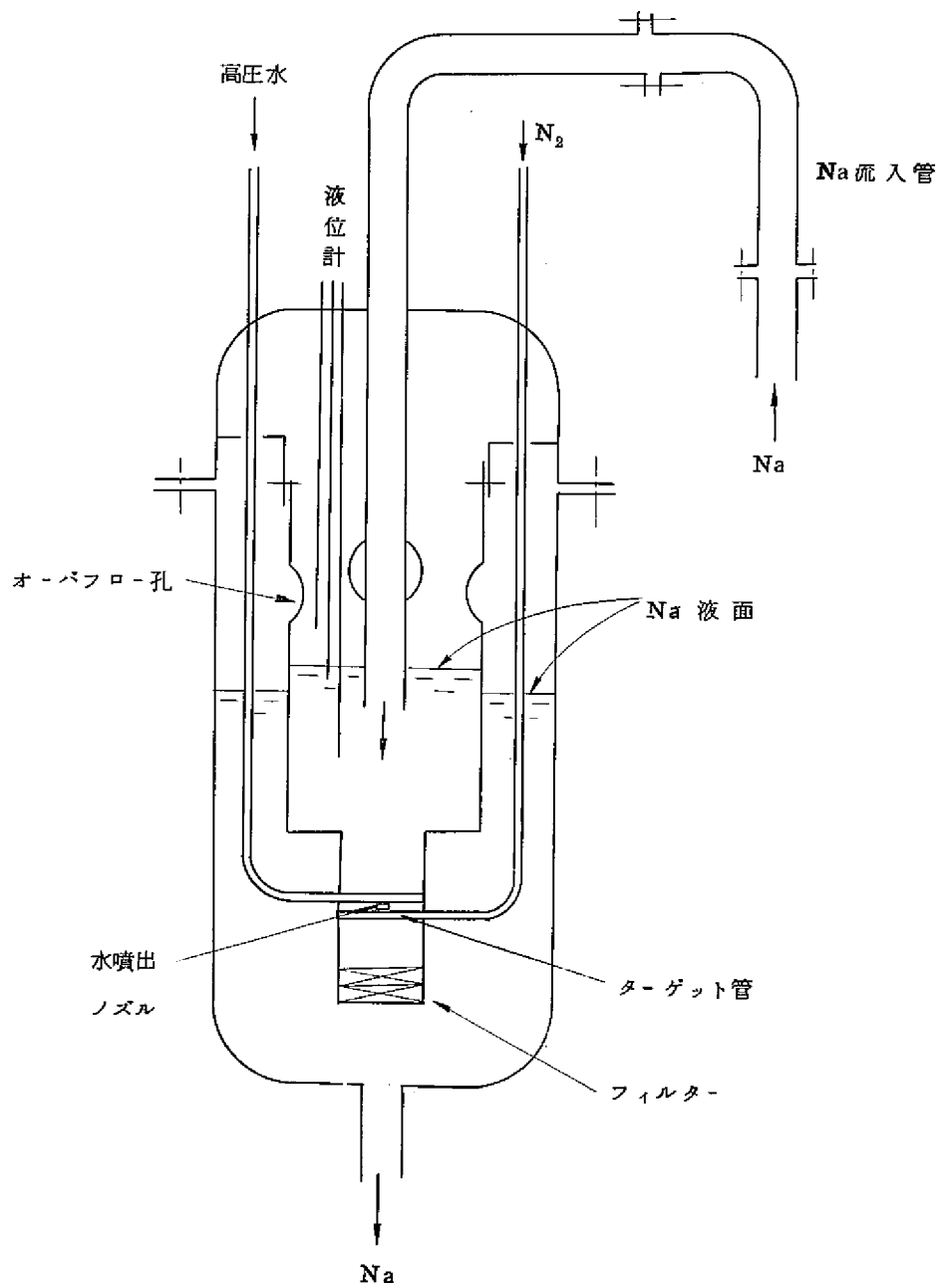


図4 反応容器概念図

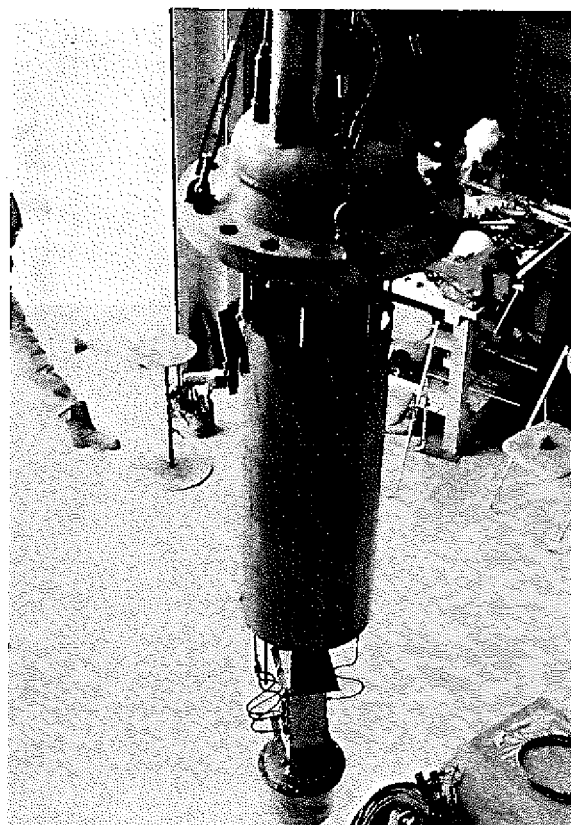


図5. 反応容器内部構造物

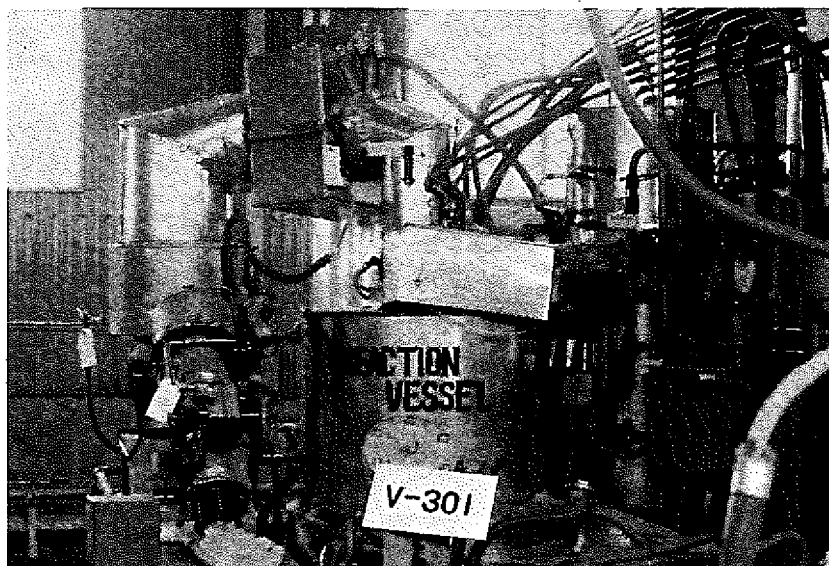
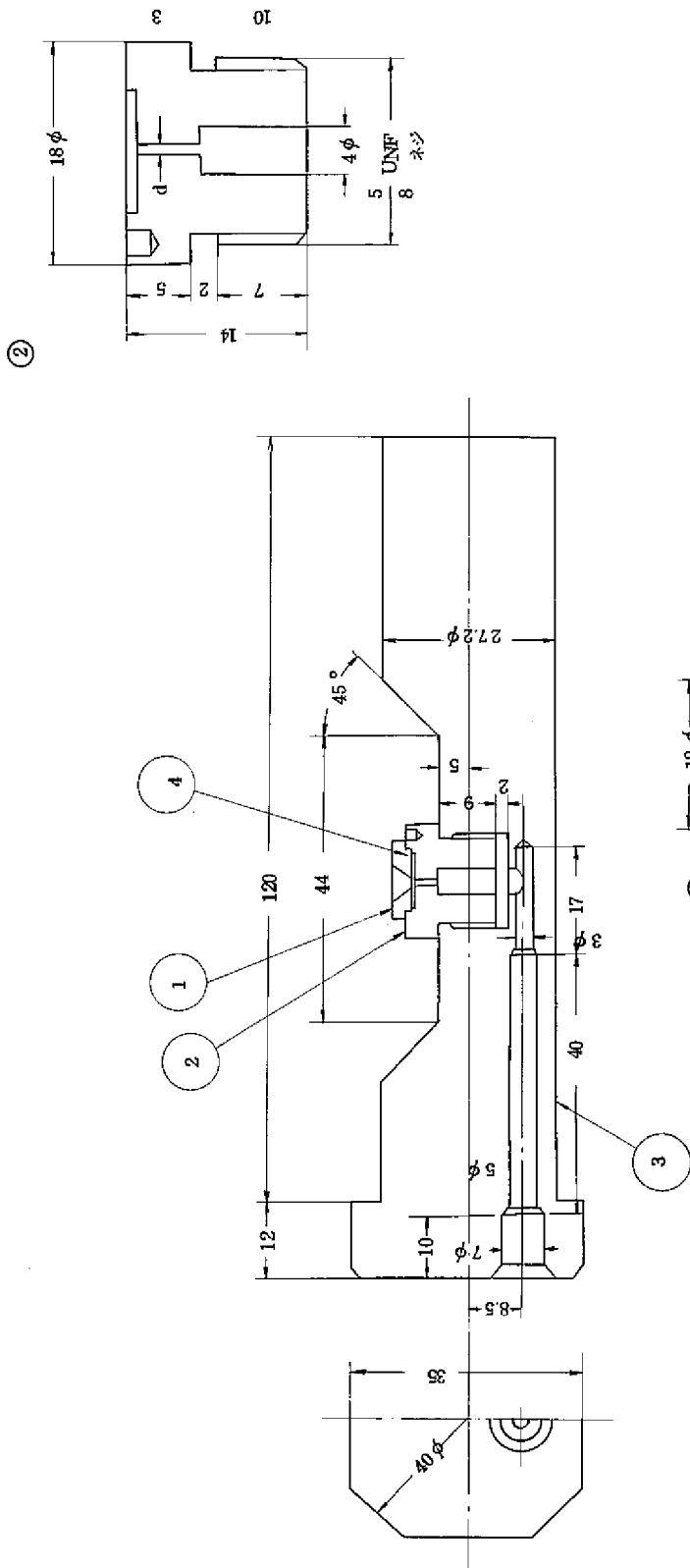
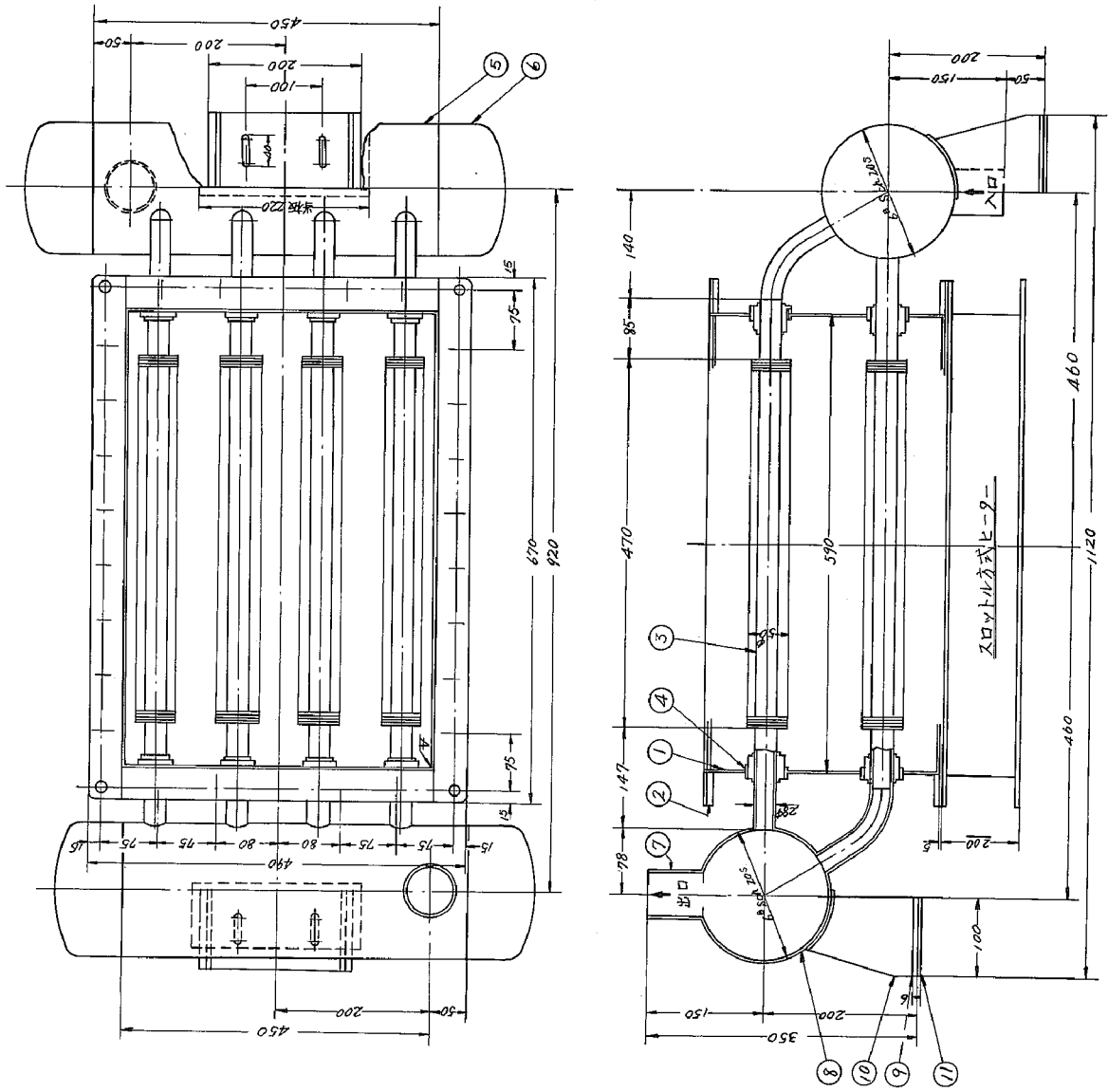


図6. 組立後の反応容器上部



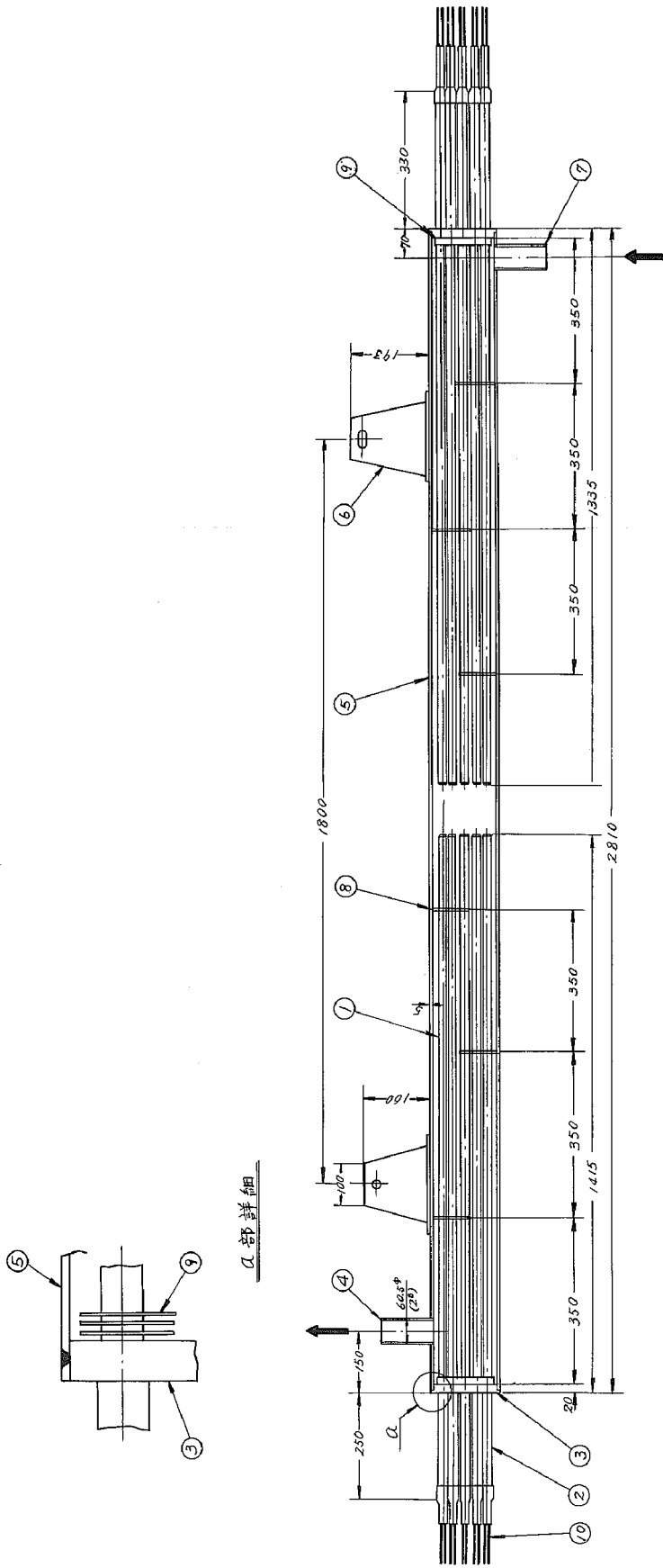
4	ラブリチ+板	SUS27	板厚~0.2mm
3	噴出管	SUS32	
2	ノズル	SUS27	
1	ラブリチ+板押え	SUS27	

図7 水噴出ノズル



番号	名称	材質	数量	備考
1	ヒートパイプ	SS 41	1	3.2t
2	フランジ	SS 41	2	F40x6 F54192F
3	フランジ	SUS 27TP	8	A83525
4	ボルト	SUS 27	16	
5	ナット	SUS 27TP	2	6.8x12.0S
6	キヤップ	SUS 27TP	4	6.8x12.0S
7	スリット板	SUS 27TP	2	2.8x10.0S
8	当座板	SUS 27	2	5t
9	座板	SUS 27	2	6t
10	遮熱材	SUS 27	1式	6t
11	遮熱材	腰質石綿	2	5t

図 8 主冷却器



A部詳細

図9 主加熱器

番号	名称	材質	数量	備考
1	エレメント-7-	SUS32TP	18	20φ
2	スリ-7-	SUS32TP	18	25.4φ
3	取付台	SUS27	2	20φ
4	液出口/スル	SUS27TP	1	2φSCH105
5	胴体	SUS27TP	1	1φSCH205
6	取付リ-7-	SUS27	2	16φ
7	液入口/スル	SUS27TP	1	2φSCH105
8	カバー	SUS27	6	5t
9	底板	SUS27	6	15t
10	リ-ド線	K9B	36	

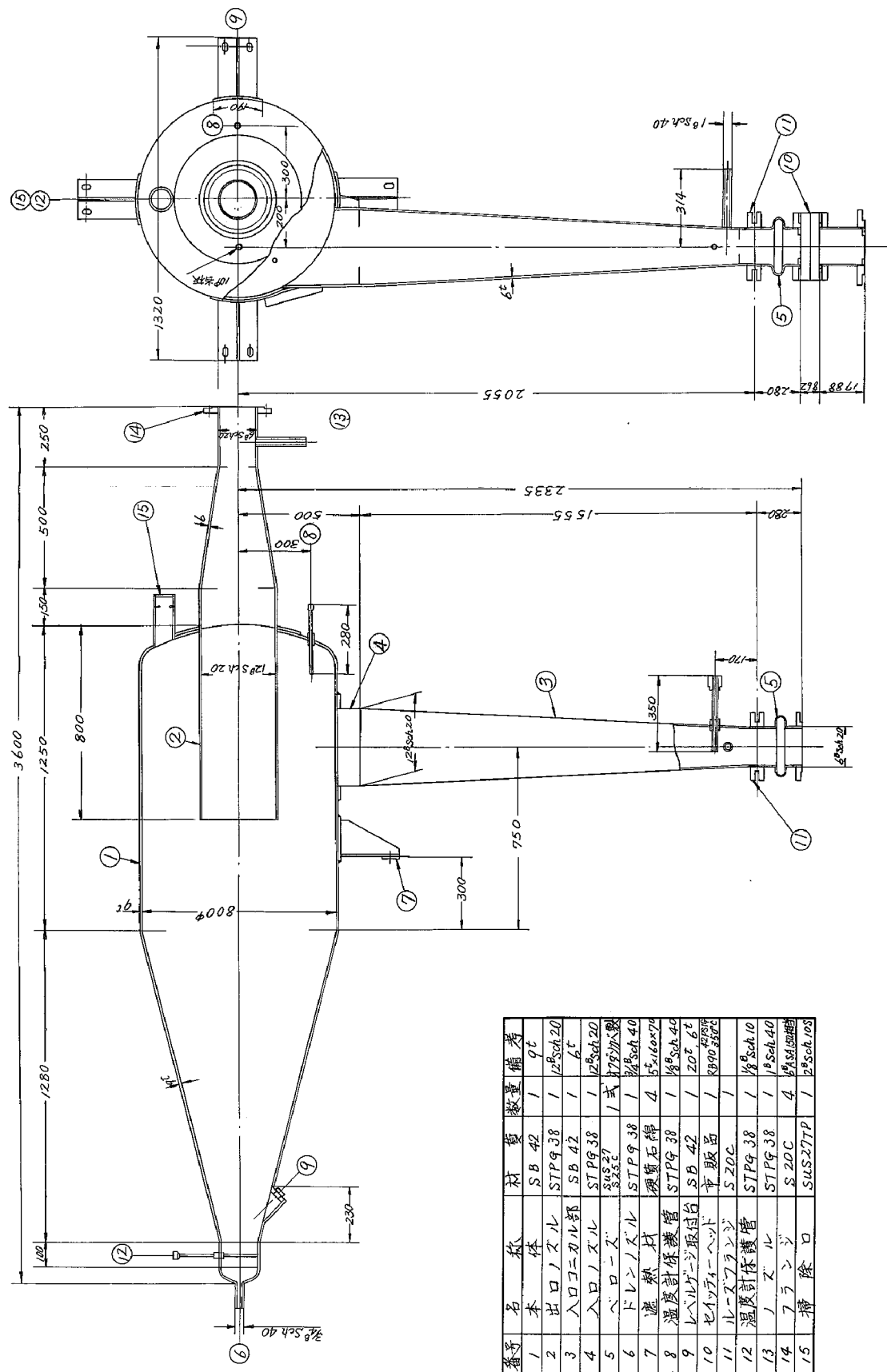
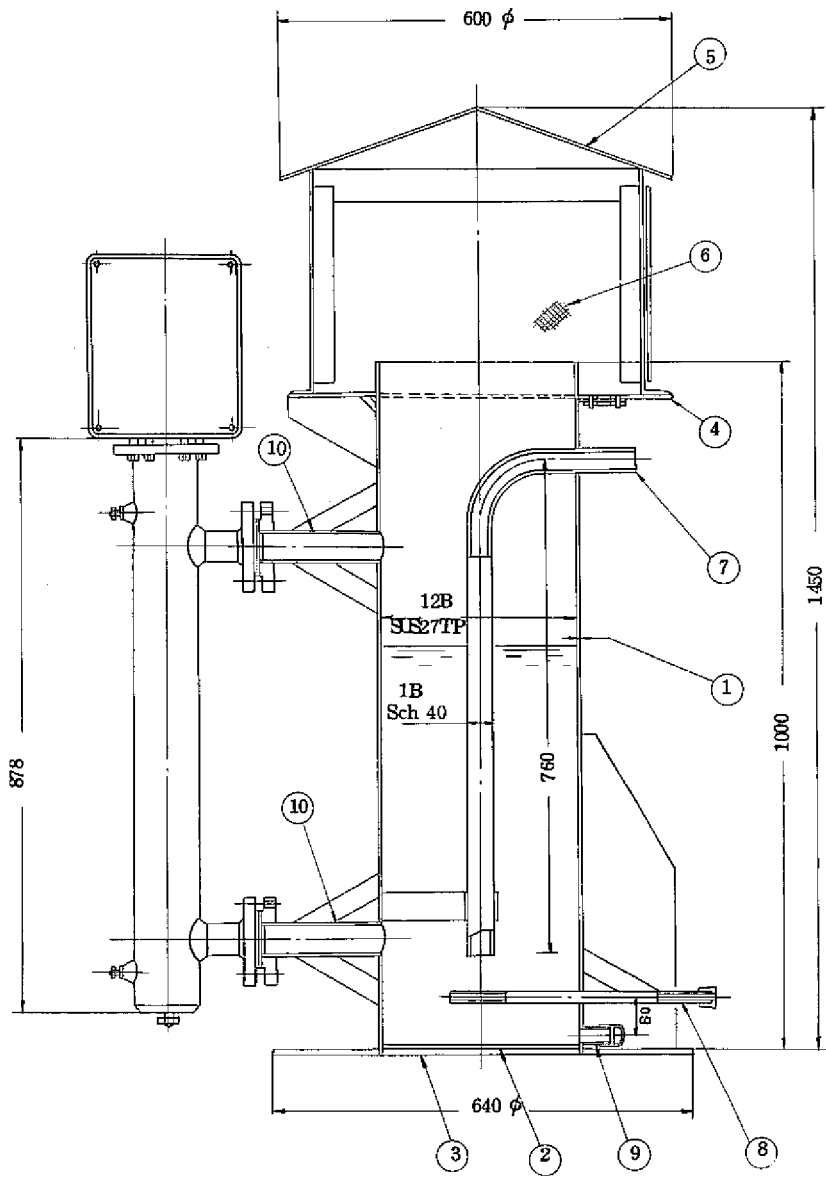
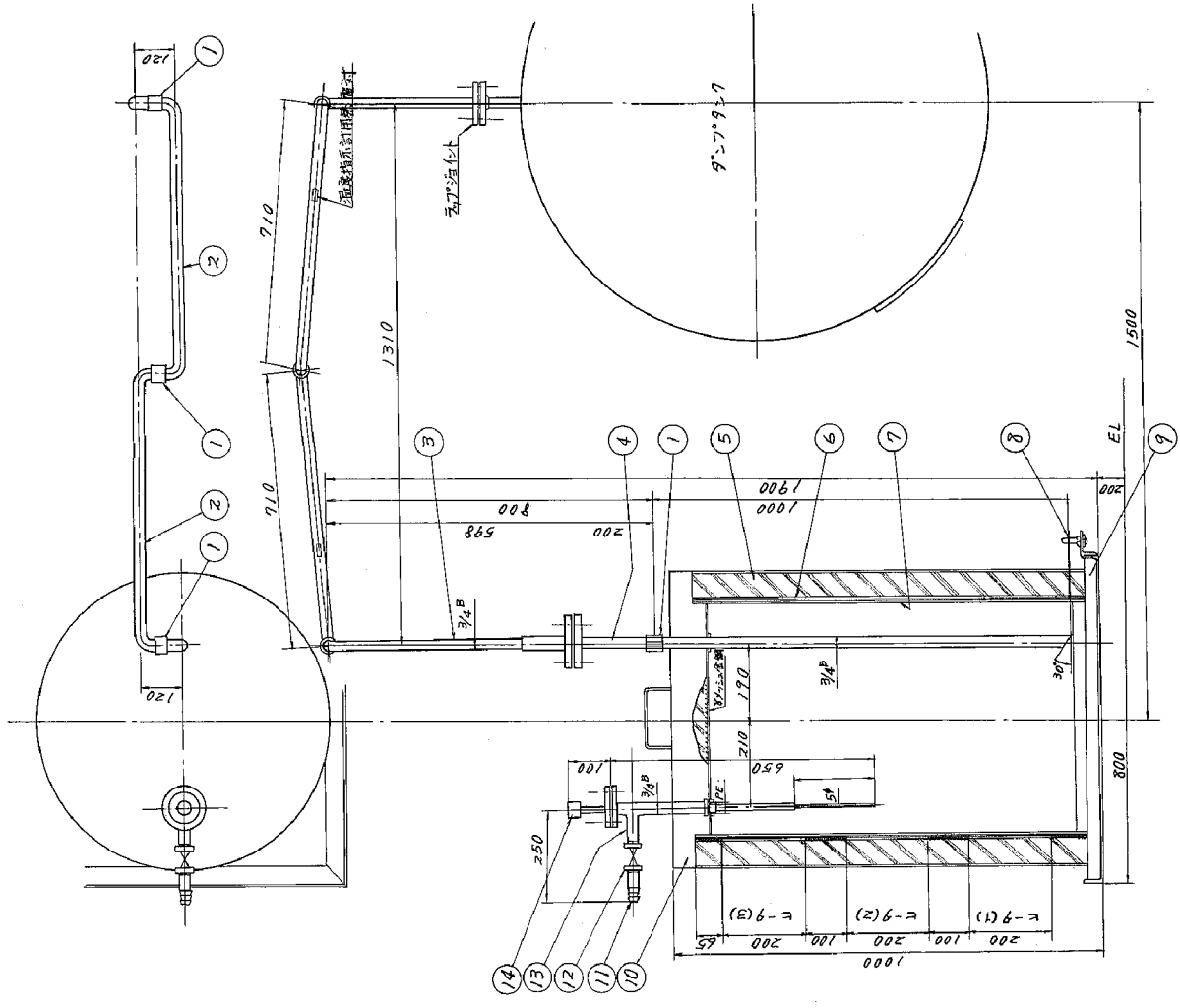


図 10 分 離 器



番号	名称	材質	数量	備考
1	胴	SUS27TP	1	12B×4T
2	底板	SB42	1	9t
3	ベースプレート	SB42	1	6t
4	取付座	SB42	1	6t
5	カサ	SS41	1	3.2t
6	金網	SUS27	1式	40メッシュ 320巾 2種
7	ノズル	STPG38	1	1B Sch40
8	温度計保護管	STPG38	1	1/2B Sch40
9	ドレンノズル	STPG38	1	1/8B Sch80
10	液面計用ノズル	STPG38	2	1/2B Sch40

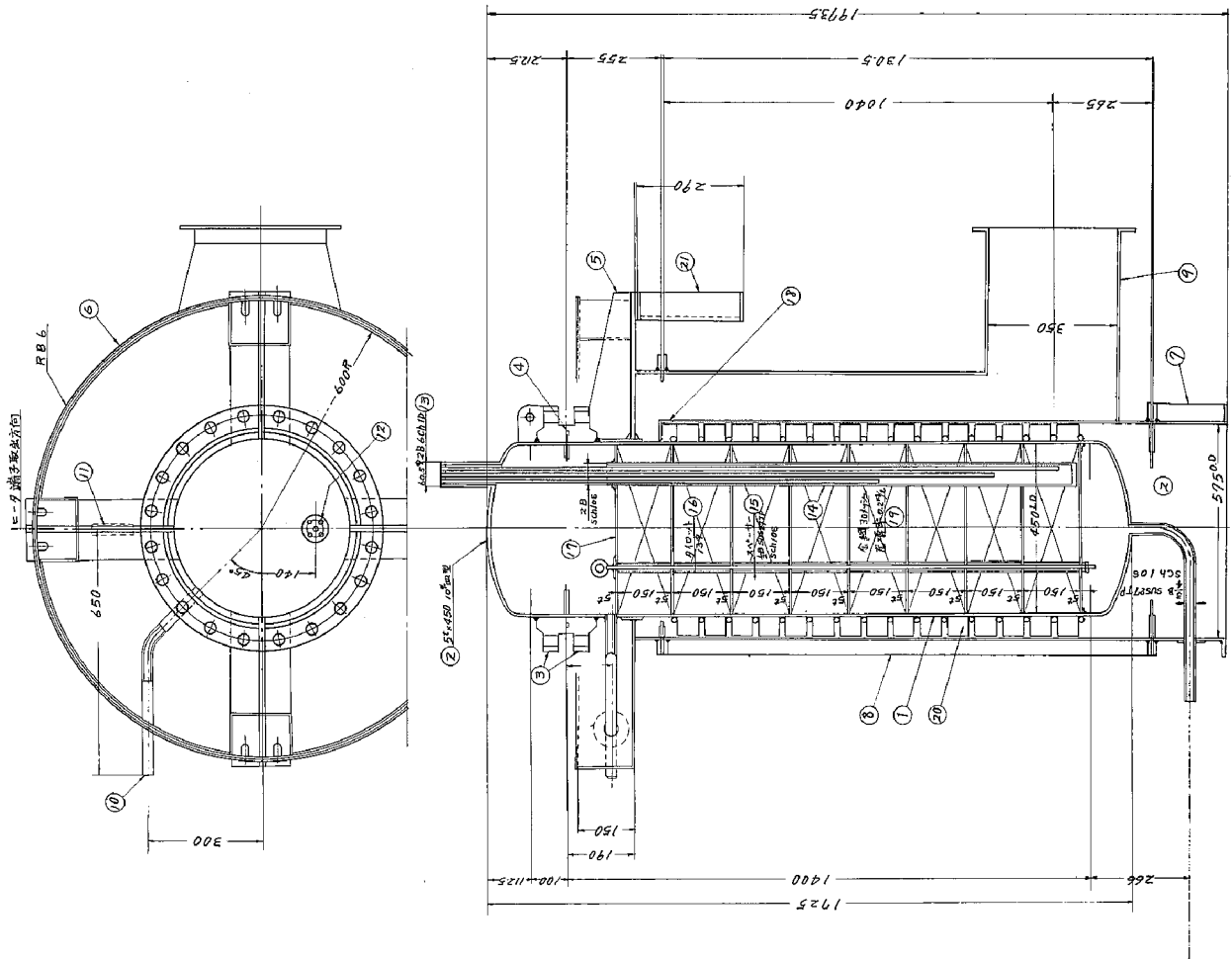
図11 液封装置



番号	名称	材質	数量	備考
1	ユニオン	SUS27	4	
2	U-パイプ	SUS27TP	2	
3	フィルタ付バルブ	"	1	
4	パイプ	"	1	
5	外	套	1式	マッ製 絶縁性
6	バンドヒータ		3	220V 2.5kW2P
7	ドラム缶	SUS27	1	
8	吊上用アイボルト	SS41	4	
9	固定棒	SS41	1	
10	カバ	MP	1式	マッ製
11	L4Bカブラ	SS41	4	図37
12	L4Bベロバルブ	SUS27	4	図37
13	3/4B-1/4B配管計用台座	SUS27TP	4	図37
14	熱電対	SUS27	1	

図12 Na供給装置





番号	名称	材質	数量	備考
1	胴	SUS 27	1	5.2
2	管板	SUS 27	2	52.0%型管
3	胴フランジ	1-1000	2	
4	メタルオリフ	1-1000	1	OD 308 X 32φ
5	ラ	SUS 27	4式	10φ
6	管	SUS 41	1式	23φ X 5φ X 2
7	ダクト	+	1	2.3t
8	ダクト	+	1	+
9	ボロダクト	+	1	+
10	ノズル(入口)	SUS 27 TP	1	3/4" Sch 10S
11	ノズル(出口)	+	1	+
12	温度計保護管	+	5	1/2" Sch 10
13	取付管台	+	1	2φ Sch 10
14	保護管	+	1	+
15	スパーサ	+	32	1/2" x 150L
16	ダクト	SUS 27	4	R. B. 13(M2)
17	バックル	+	9	5.4
18	排気バックル	SS	1	L-A 450
19	缶鋼	SUS 27	1式	30 X 15 X 2
20	フライン	SUS 41	1式	2.3 X 50 X 10
21	脚台	SS	4	F-150 X 200 X 80

図13 コールドトラップ

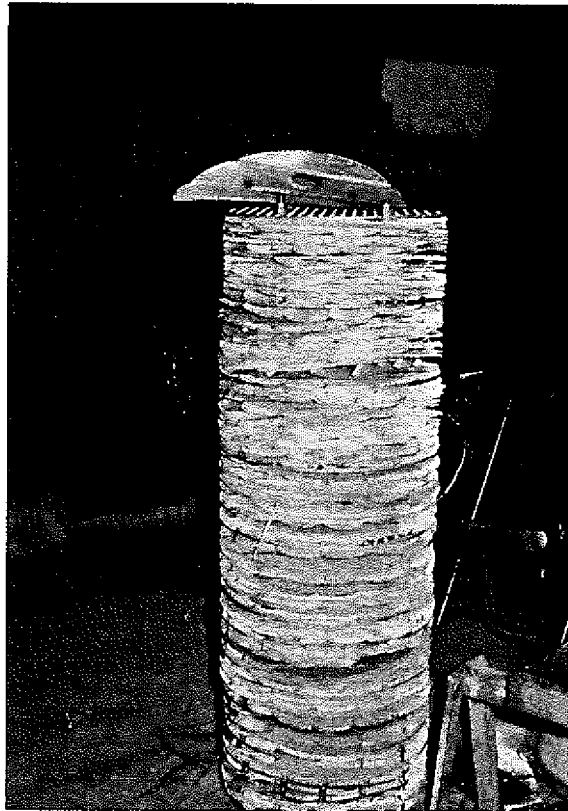


図14. ユールドトラップ充填金網

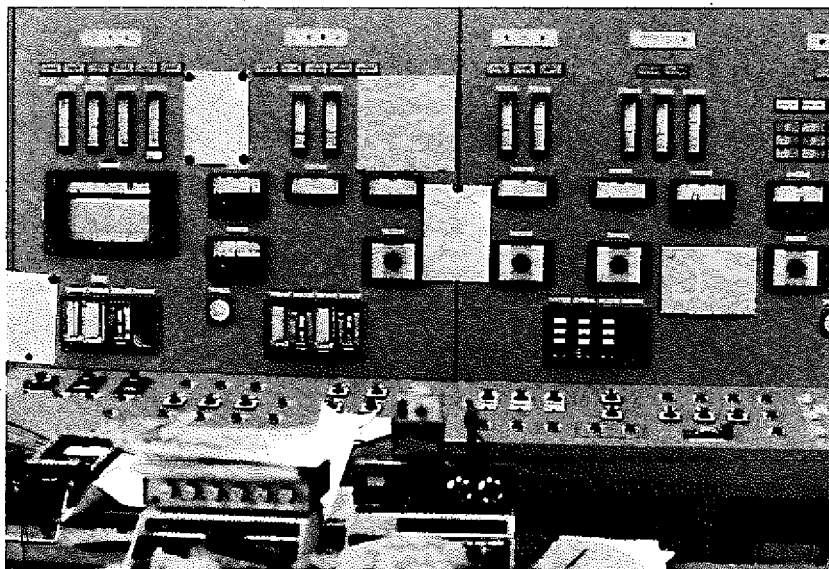


図16. 制御パネル

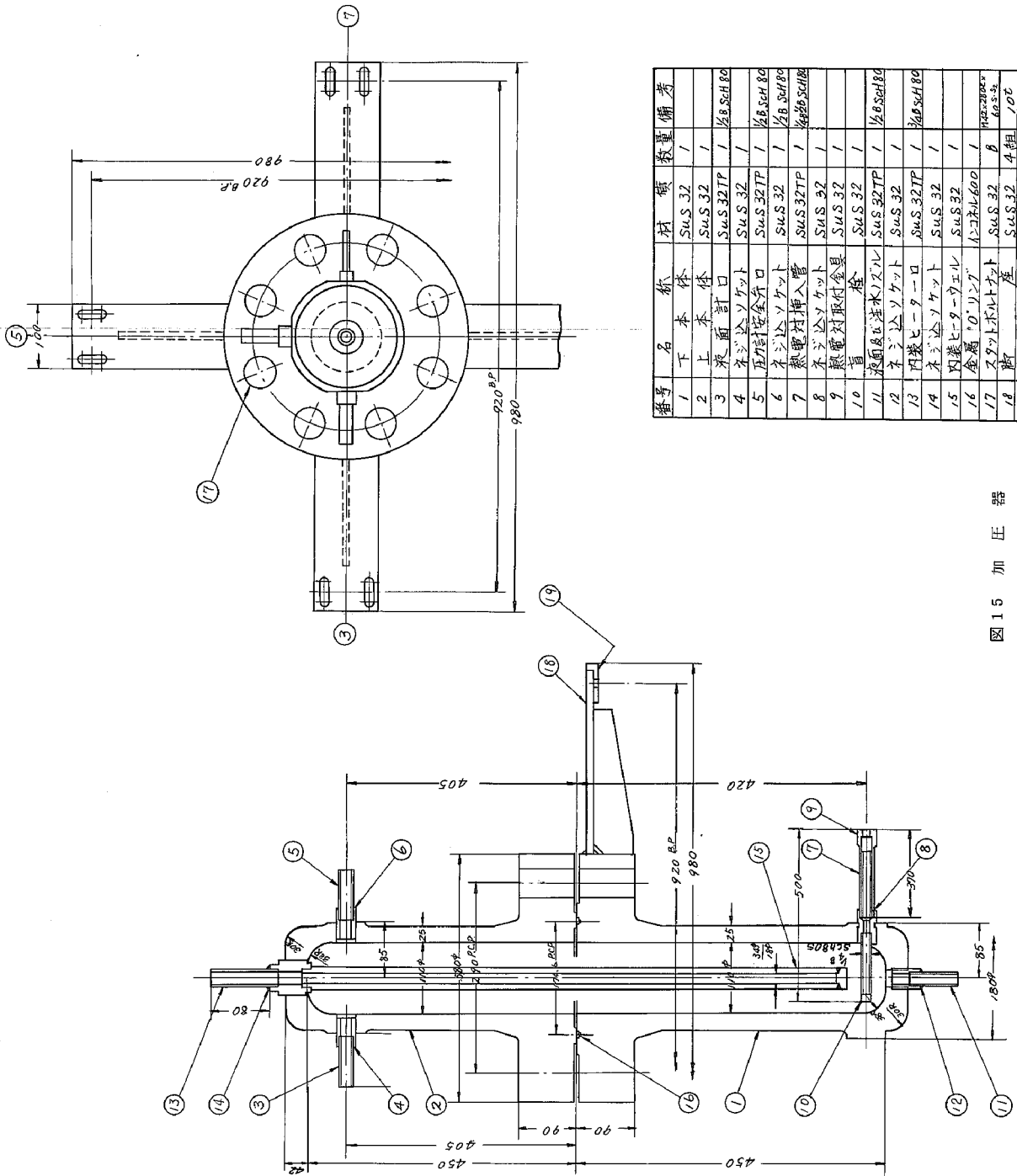


図 15 加 圧 器

番号	名称	材料	数量	備考
1	下本体	SUS 32	1	
2	上本体	SUS 32	1	
3	前面計口	SUS 32TP	1	1/2 B SCH 80
4	ネジ込ソケット	SUS 32	1	
5	圧力計安全弁口	SUS 32TP	1	1/2 B SCH 80
6	ネジ込ソケット	SUS 32	1	1/2 B SCH 80
7	熱電対挿入管	SUS 32TP	1	1/2 B SCH 80
8	ネジ込ソケット	SUS 32	1	
9	熱電対取付金具	SUS 32	1	
10	盲管	SUS 32	1	
11	後面注水ノズル	SUS 32TP	1	1/2 B SCH 80
12	ネジ込ソケット	SUS 32	1	
13	内装ヒューズ	SUS 32TP	1	1/2 B SCH 80
14	ネジ込ソケット	SUS 32	1	
15	内装ヒューズ	SUS 32	1	
16	金属「O」リング	1-3コナル600	1	140-3000
17	ソケットボルト	SUS 32	8	40x54
18	駒	SUS 32	4組	100
19	遮熱材	煉瓦石棉	4	50x60x100

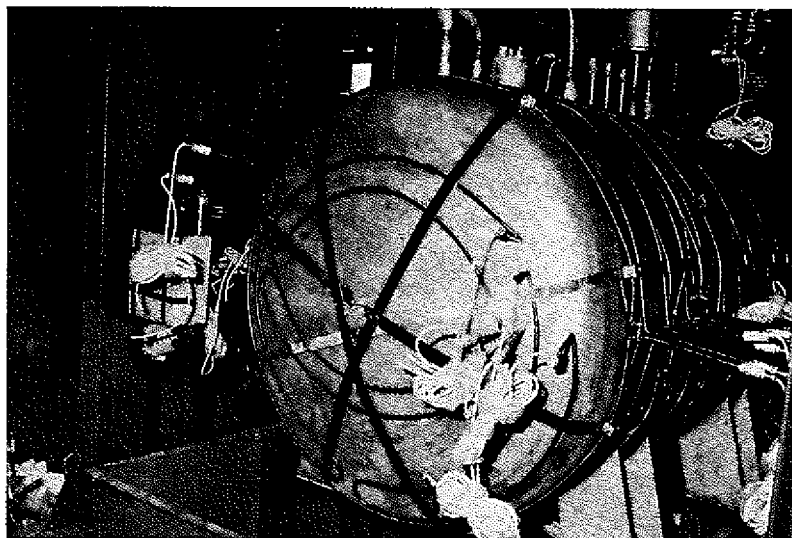


図17. ダンプタンクの子熱ヒータ取付状態

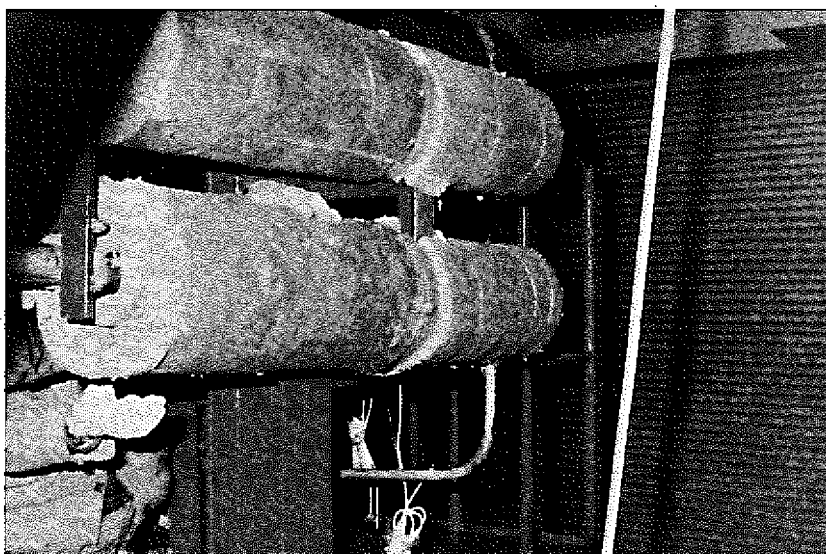


図18. 保温材ロックアファインの施工状態

## 5. リーク検出系の仕様と構造

### 5.1 Na中水素計

Na中水素系は、現場設置のNaループユニットおよび質量分析器・真空排気装置と、制御室設置の計測制御盤とから構成されている。

Naループユニットは、電磁ポンプ、エコノマイザ、冷却器、加熱器、水素センサ、電磁流量計等から構成されている。Naは反応容器の出口の主循環系から分岐させ、図19.に示すようなNaループユニットに入る。流入Naの温度が300℃～540℃の時に、センサー部の温度を最高550℃にし、かつ温度変動を±1℃以内になることを目標に設計した。Na流量は最高20ℓ/minである。

センサーには、水素の透過率が良く、Naとの共存性も良いNiを拡散膜として使用した。図20.に示すように外径16mm、長さ200mm、厚さ0.5mmのNiチューブの内部が真空で、外側をNaが流れる。センサー部の耐圧は5kg/cm<sup>2</sup>、その他のNaループ部は10kg/cm<sup>2</sup>である。センサー部の耐圧を下げたのは、Ni膜内での水素の拡散の時間遅れを少なくするためである。一方、万一水反応時の圧力が伝播して来て、膜が破損し、Naが真空系に漏洩した場合の対策として、センサー出口の真空系配管に空冷フィンをつけ、そこでフリーズシールさせるようになっている。

真空排気装置は、Ni膜を拡散して来た水素を質量分析器で分析可能な10<sup>-4</sup>～10<sup>-8</sup>Torrの高真空を達成するためのものである。排気は50ℓ/minのオイル回転ポンプと液体窒素のコールドトラップ、20ℓ/sec (N<sub>2</sub>換算)のノーブルポンプ等によりおこなう。10<sup>-8</sup>Torrまではピラニ真空計で、10<sup>-4</sup>～10<sup>-8</sup>Torrの範囲はノーブルポンプのイオン電流値から真空度が測定できる。排気系は、ノーブルポンプを含め、ベーキングできるようテープヒータとその制御器が組込まれている。ベーキング温度は最高350℃である。排気系のブロック図を図21.に示す。

ノーブルポンプは、日電バリアン製で、スパッターイオンポンプの1種である。チタン陰極と陽極間に加えられた電圧により陰極から電子を放射し、その中性分子に対する電離作用により出来たプラスイオンが陰極に衝突してチタン原子をスパッターし、陽極およびポンプ容器壁に新鮮なチタン堆積層を連続的に作る。このチタン表面のゲッター作用により、種々の分子は捕捉されるので、外部に排気することなく連続的にポンプ作用をもつ。但し、寿命は動作圧力に反比例し、10<sup>-6</sup>Torrで約2万時間と云われている。

質量分析器は、磁場による質量の分散効果を利用した型のものである。加速電圧を変化さ

せると、それに応じて特定の質量数をもった分子のイオンがコレクタに集められ、イオン電流となって検出される。検出可能質量範囲は1~40 AMUである。イオン電流は、分解能  $1 \times 10^{-18}$  A のログアンプによって増巾される。

水素標準リークは、分析管の水素感度とノーブルポンプの排気速度の較正に使用する。リーク率は  $1.24 \times 10^{-6}$  Std. cc/sec で、温度係数 0.1%/F 以下、リーク率の経時変化は2年間連続使用で 10% 以下である。

この Na 中水素計の総合した検出範囲は Na 中水素濃度にして 5~0.05 ppm である。Ni 拡散膜内での時間遅れは、センサ部温度 550°C において、濃度のステップ変化に対して分析管に何らかの変化が現われ始めるのは 6 秒、90% 指示を示すのは 50 秒後である。

## 5.2 連続式プラグング計

連続式プラグング計は、通常運転時のループの Na 純度の管理と、水リーク検出計のバックアップ手段としての作動特性を調べる目的でとりつけた。目標性能は、「プラグ温度 120°C~170°C に相当する純度の Na が、プラグング計流入部において +5°C 以上に相当するステップ状不純物濃度の変化があった場合、プラグング計指示が 30 秒以内に何らかの応答を示すこと」である。系統図を図 2.2 に示す。

Na は主循環系の主冷却器に入る前で分岐し、プラグング計ユニットに入る。小型の電磁ポンプにより駆動されたあと、冷却器とバイパスに分れて流れ、冷却器下方で合流する。冷却器出口にプラグングオリフィスがあり、バイパスにはバイパス流量を制限するためのオリフィスが設けてある。プラグングオリフィス流量 ( $F_1$ ) とポンプ出口流量 ( $F_2$ ) の信号は除算器により流量比信号 ( $F_1/F_2$ ) に変換され、冷却器ダンパの PID 制御器に入る。 $F_1/F_2$  がプラグングオリフィスに不純物が多少付着した場合の値になるように PID 制御器で冷却量を制御する。この時の流量比とオリフィス部の温度が記録される。

なお、プラグング温度の測定は、自動測定の他に、手動測定、ブロワの ON, OFF による振動測定もできる。

## 5.3 Ar 中水素計

カバーガスとしての Ar ガスを反応容器から連続的に引いて、その中の水素濃度を連続的に指示記録する水素計である。センサーとしてパラジウムの膜を使い、その内部を拡散ポンプで真空に引いておき、拡散して来た水素を電離真空計で検出する。センサー部と拡散ポンプとの間に絞り機構を入れ、センサー内を適当な真空に保つことにより、連続指示を可能に

した点が特徴となっている。系統図を図 23 に示す。

反応容器からの Ar ガスは、ベーパートラップを通し、2~10 ℓ/min 程度の流量でセンサーに送る。センサー部ではパラジウム管周囲とそこに到るガス流路に、計3段の自動制御ヒータが入れられていて、Ar ガスとパラジウム管とを最高 500℃まで加熱できるようになっている。パラジウム管は、日本純水素製の Pd-Ag-Au-Ru 合金で、外径 3mm、長さ 200 mm、肉厚 0.25 mm である。

真空排気系は、オイルロータリポンプ、ガイスラー管、オイル拡散ポンプ、コードトラップ、オイルベーパートラップ、電離真空計、絞り機構、水素検出計（電離真空計）等からなっている。水素検出計での測定水素分圧範囲は  $10^{-6}$  ~  $10^{-2}$  Torr である。

センサー部には、スタンダードガスを送り水素濃度と検出計指示値との関係を随時校正できるようにしている。又、所定の感度がでなくなった場合は、空気による加熱と、水素ガスの導入とにより再生することができる。

Ar ガス中の水素濃度に対する測定範囲は、1~1,000 ppm で、感度は 3 ppm のバックグラウンドの時に 1 ppm の変化の検出を目標にしている。応答時間は、センサー入口で 10 ppm の  $\frac{1}{3}$  が変化した時、90% 応答を示す時間が 5 秒以内であることを目標にしている。

制御パネルは現場と制御室とにあり、初期設定のみ現場でおこない、常時の監視、記録、制御は制御室にておこなえるようになっている。

#### 5.4 音響式検出器

音響式検出計を開発する上では、センサーをとりつける位置に関して、耐熱性や感度等、センサー自身の問題と、実際の信号の推定とその判別の問題とがある。我々のところにおける使命はこの後者にある。すなわち、水のリーク条件と信号の関係、センサーの取付け位置による影響、自動的に信号を判別する方法等を調べることにある。

最初は、どの様なセンサーが最も有効かを調べるために、次の4種のものがとりつけられた。

- (1) 加速度計-1 (Kistler 808A)
- (2) 加速度計-2 (Endevco 233E)
- (3) Na 中音響計 (Toshiba HAD-MK4 型)
- (4) マイクロホン (Sony 製, ECM-21 型)

加速度計-1は Kistler 社製の水晶を使ったピエゾ式で、主要な仕様は次の通りである。

フルスケール      ~10,000 g

分解能	0.01 g
周波数範囲 (±5%)	near DC~7 KHz
直線性	±1%
温度範囲	~260°C

加速度計—2は Endevco 製のピエゾ式で、主要な仕様は次の通りである。

電圧感度	44 mV/g
周波数範囲	2~6,000 Hz
直線性	2/500%/g
耐衝撃性	2,000 g
温度範囲	~177°C

Na 中音響計は東芝製で、素子として  $\text{LiNbO}_3$  を使っている。耐熱性は Na 中で最高 550°C まで使用可能とされている。周波数特性、温度特性は較正グラフとして出されている。較正法は、水槽に入れ水中スピーカと水中マイクを使っておこなわれた。

マイクロホンは SONY 製で、ECM-21 型、単一指向性である。主要定格は下記の通り

周波数特性	~5.0~10 <sup>4</sup> Hz
感度	-50 dB (但し、0 dB=1 V/10 $\mu$ bar)

これら音響検出計の反応容器壁における取付け状態を図 24 に示す。高さ方向の位置はいずれもほぼ水注入点附近である。加速度計はすべてネジで固定されている。加速度計 2-1 と 2-2 は同じ型のセンサーで、導波棒の長さの影響を調べるためにとりつけてある。Na 中音響計は受圧面の先にあらかじめパイプが一体構造で取付けられていて、それを反応容器壁から出ている導波管に溶接して取付ける。マイクロホンは保温材の化粧鉄板の外においてある。マイクロホンは反応容器の高さ方向に位置をかえ合計 4 個とりつけられている。

加速度計と Na 中音響計はセンサーのすぐわきに増巾器をおき、制御室までは約 30m のケーブルで引っばって来ている。信号の記録は、データレコーダにて一括しておこなう。データレコーダは AMPEX-FR 2,000 である。

信号の分析は、TEAC 製 実時間周波数分析器にておこなう。

この分析器の構成は

スペクトラムアナライザ	F-100
実時間デジタル相関計	C-110
バンドパスフィルター	FV-602T
2 ペン X-Y レコーダ	YEW3078



X-Y ブラウン管ディスプレイ装置,  
その他からなっている。

マイクロホンからの音の記録はTEAC, A-3340, 4チャンネルテープレコーダにておこなう。

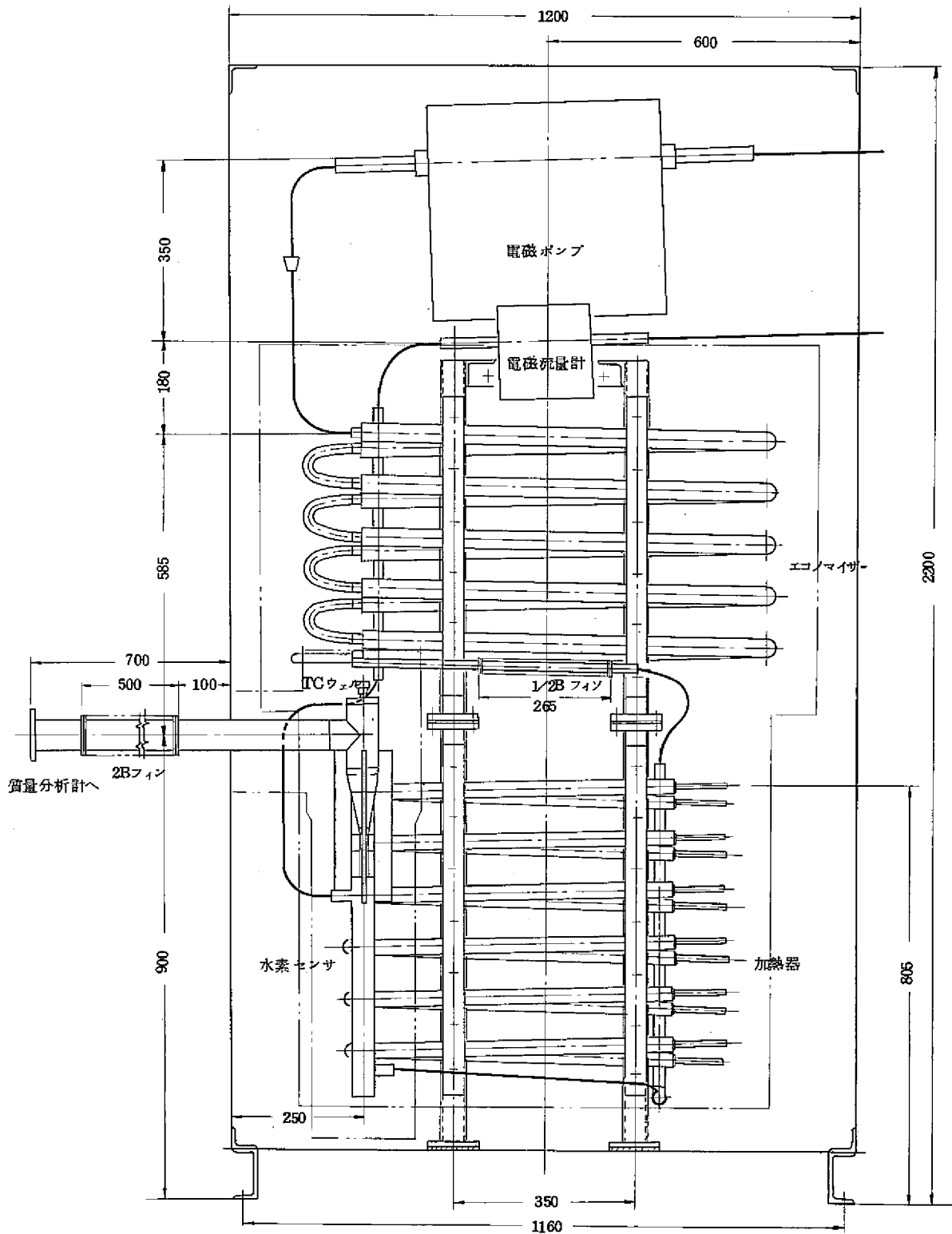


図 19 Na 中水素計組立図

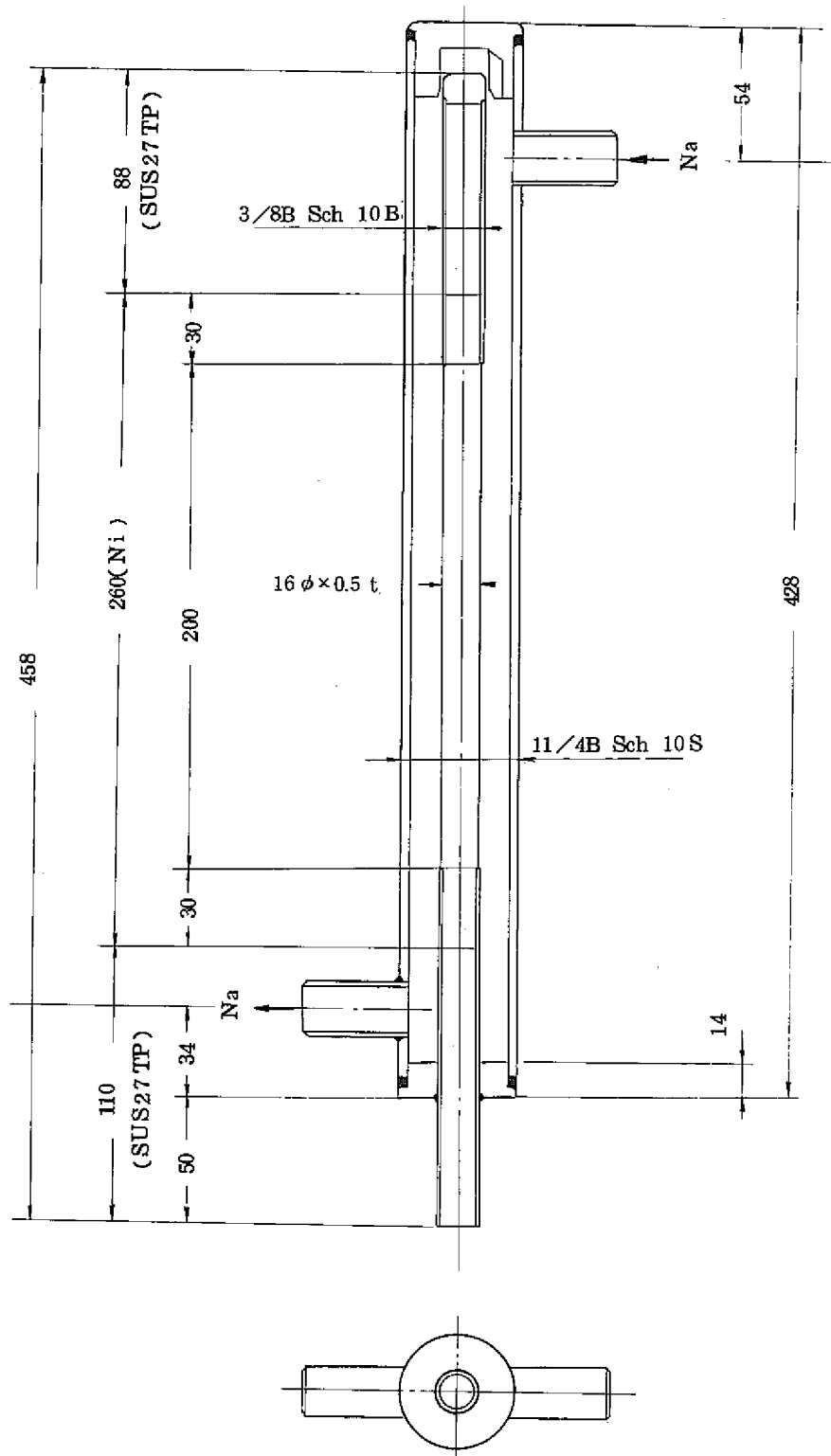


図 20 Na 中水素計センター

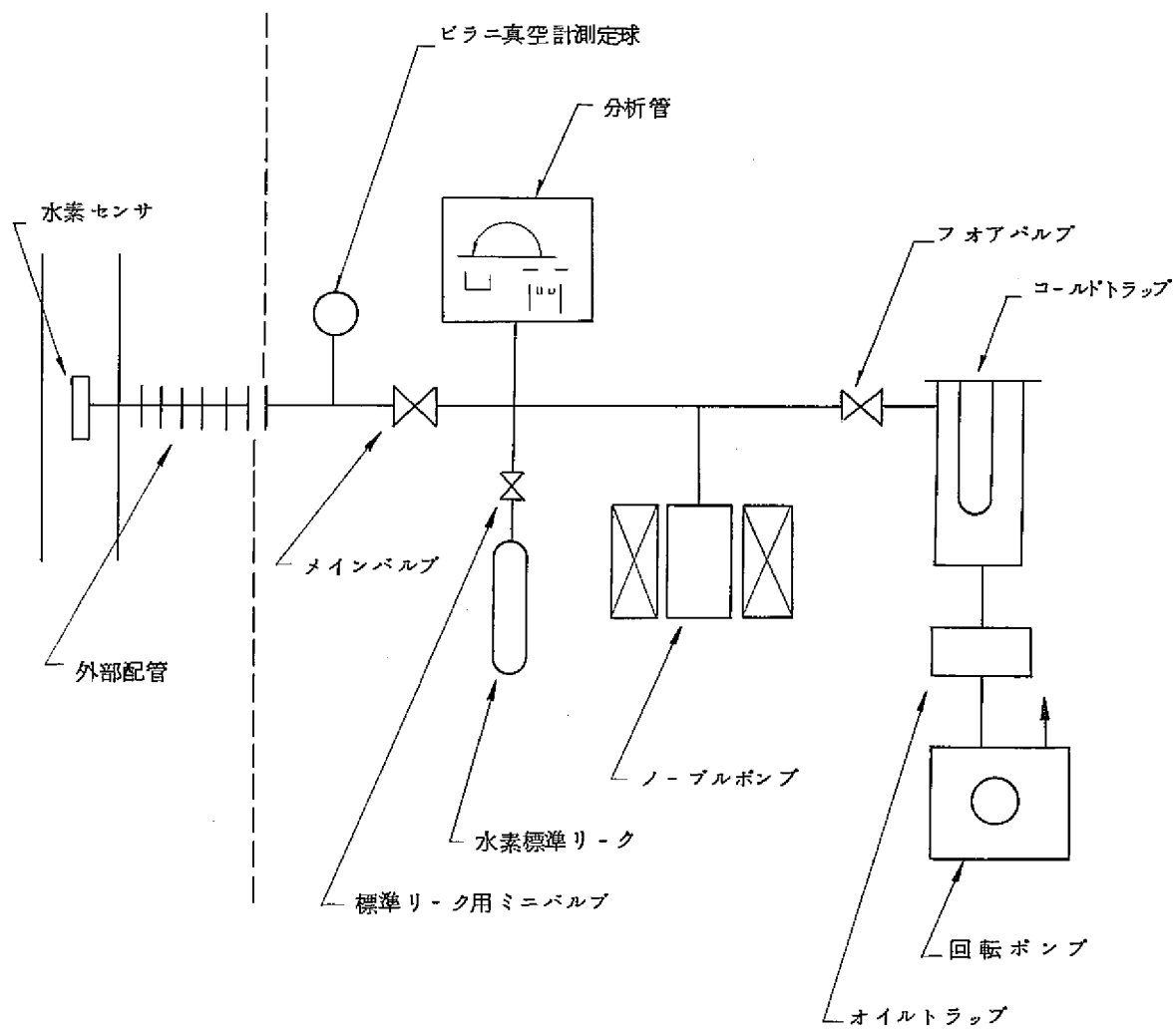


図 21 Na 中水素計排気系ブロック図

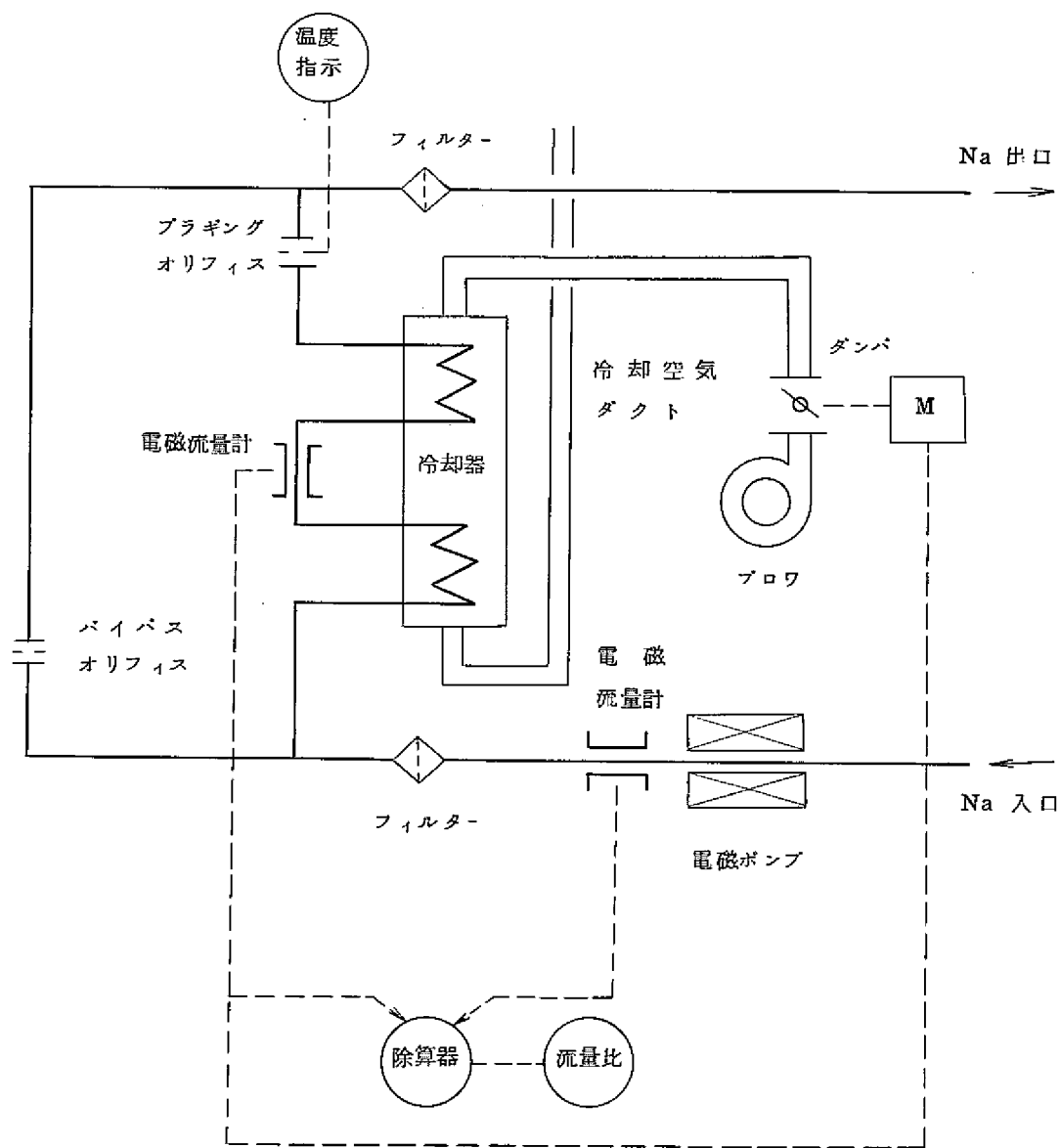


図 22 連続式プラグイング計系統図

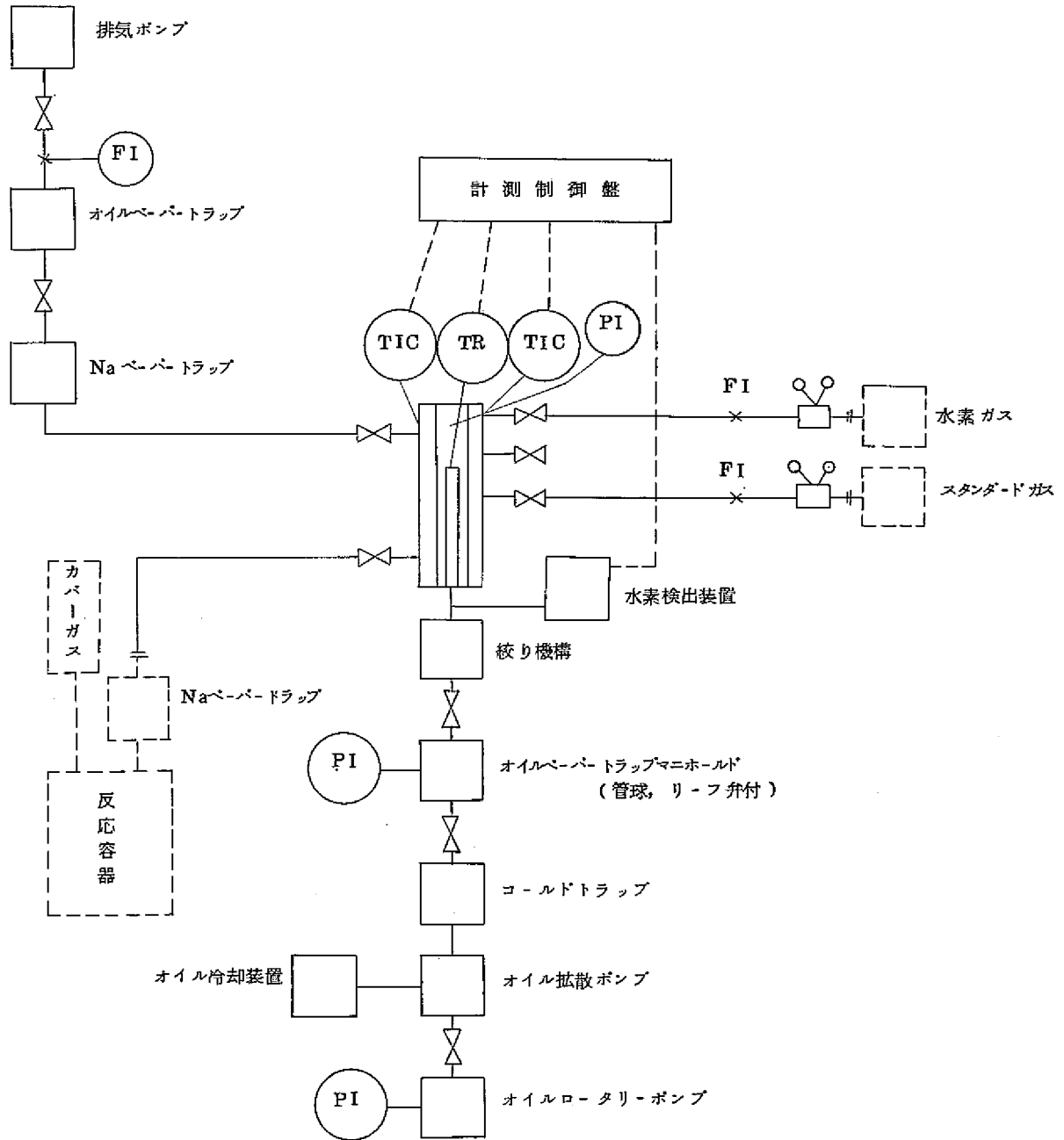


図 23 Ar 中水素検出器系統図

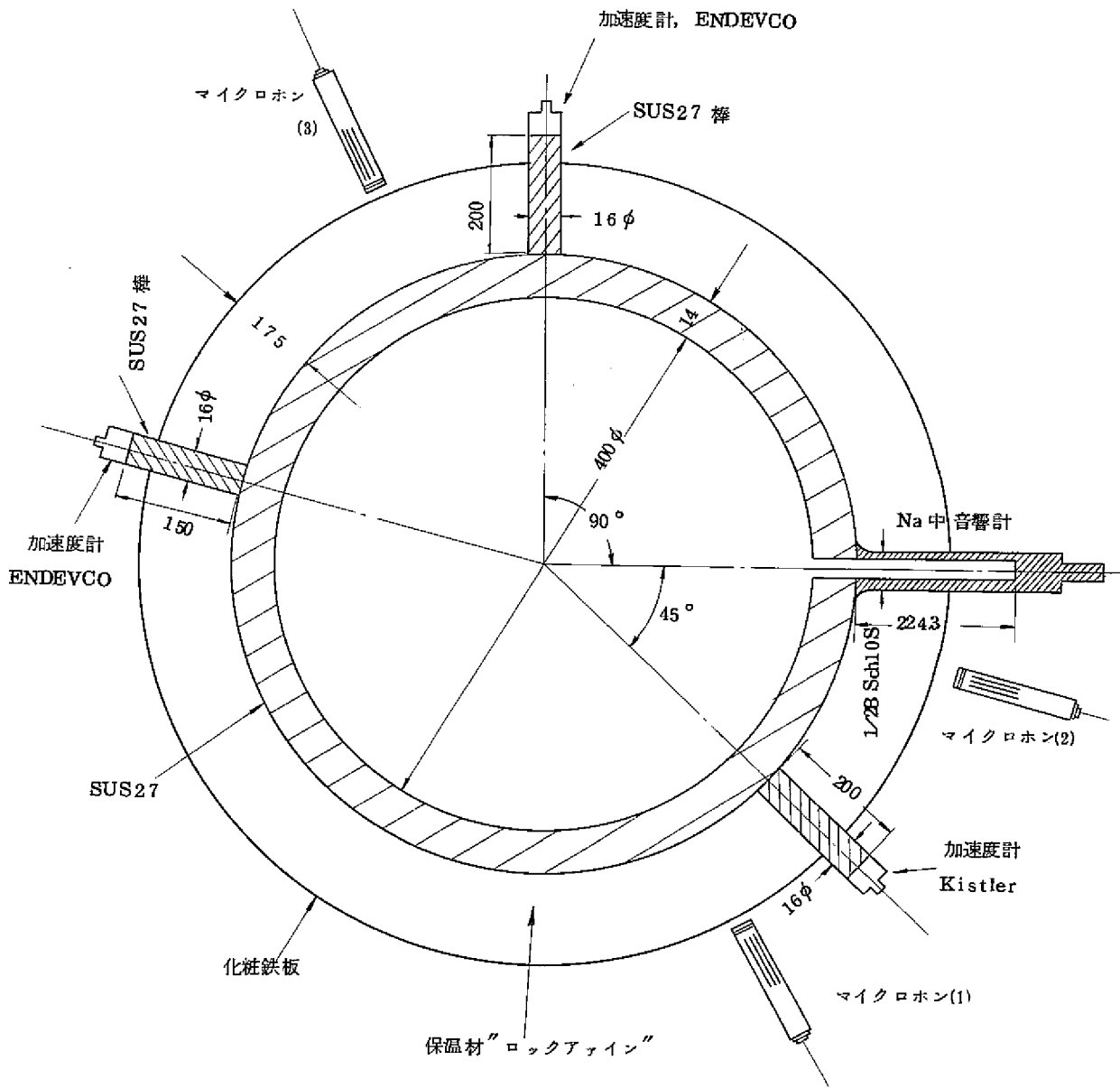


図 24 音響式検出計取付図

## 6. 装置の建設

装置の建設の担当及び建設日程は表 3.のごとくおこなわれた。

主要な検査，試験項目，判定基準を以下に示す。

- (1) 溶接部検査 Na系機器，高圧部の溶接部は，原則として100%，放射線透過検査を行ない，JIS 2級以上を合格とする。放射線検査ができないところ，およびその他必要な部品は染色探傷検査を行なう。
- (2) 耐圧試験
- (3) ヘリウム漏洩試験 Naに接する溶接部はヘリウムリーク試験をおこない，一溶接線当り  $10^{-6}$  Acc/sec 以下を合格とする。
- (4) 性能試験 水噴出系統および弁類等の動的機器については，作動試験およびシール部，シート部等の漏洩試験を行なって性能を確認するものとする。
- (5) 真空試験 装置全体を常温で真空引きして，到達真空度が装置運転に支障のないことを確認する。
- (6) 加圧放置試験 装置全体を常温  $1 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  に加圧して 24時間放置後，（温度補正を考慮して） $0.993 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  以上であることを確認する。
- (7) ヒータ絶縁検査 絶縁抵抗  $1 \text{ M}\Omega$  以上。
- (8) 予熱昇温試験 所定の時間で所定の温度まで予熱，昇温できること。
- (9) Naチャージ
- (10) 定常運転 ポンプ，流量計，液面計，プラグギング計，コールドトラップ，その他各機器，計器が仕様を満足すること。
- (11) 高温連続運転 Na系温度  $540^\circ\text{C}$  一定で運転出来ること。

完成した装置の主要な機器と架台の鳥瞰図を図 25. に示す。

図 26. は装置の全景で，下方に右からドラムかんの Na 溶解装置，ダンプタンク，ドレンタンク，Na 溶解装置電源盤，2階に右から Na 中水素計真空系機器パネル，連続式プラグ計，3階に右から Ar 中水素計機器パネル，1番高い所に水加圧器，左に分離器等がみられる。



表 3. 建設日程

年 月 日	記 事
45年12月	試験装置の製作に関し三菱原子力工業と契約
46年 3月31日	リーク検出計 ( Na 中水素計と連続式プラグイン計 ) の製作に関し三菱原子力工業と契約
10月	基礎工事完了
12月 1日	架台据付開始
12月 9日	架台組立完了
12月17日	Ar 中水素計の製作に関し、東京芝浦電気と契約
12月26日	機器搬入開始
47年 1月 6日	機器据付開始
1月 9日	水・ガス系配管工事開始
1月13日	消防署立合検査
1月14日	Na 系配管工事
1月15日	He リーク、配管工事
1月21日	配線工事開始
1月28日	ヒータ取付工事開始
2月 6日	X線検査開始
2月17日	保温工事開始
2月18日	盤間配線工事開始
3月 3日	第1種圧力容器検査、合格
3月5～11日	各種耐圧、漏洩、作動試験
3月12日	ドラムかんからダンプタンクへNa チャージ
3月13日	ダンプタンクからループへNa チャージ
3月14～15日	各種性能試験
3月16日	高温連続運転
3月19日	Na ループからダンプタンクへドレン
3月20日	装置引取り
5月8～22日	Ar 中水素計据付調整

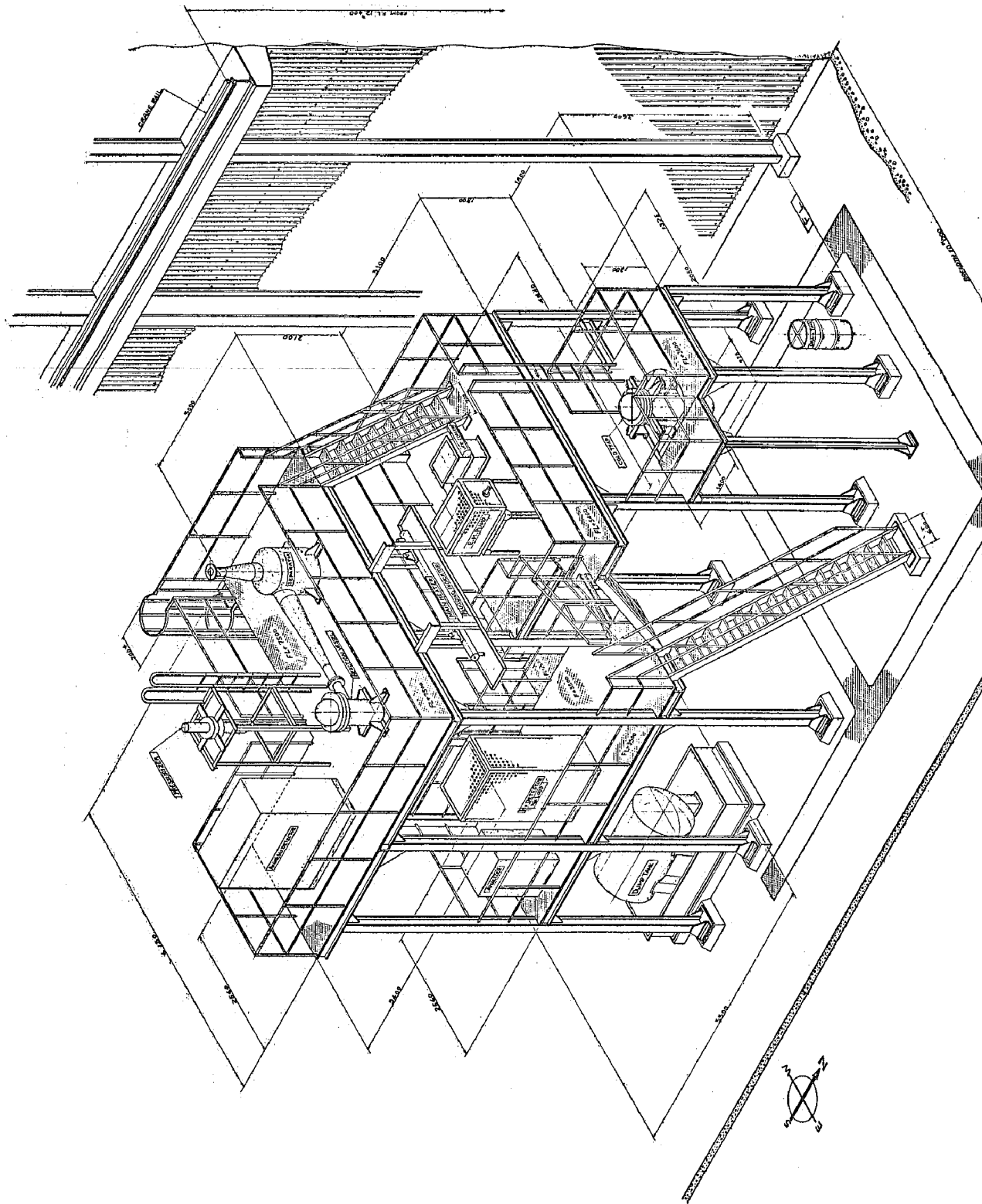


图 25 装置岛瞰图

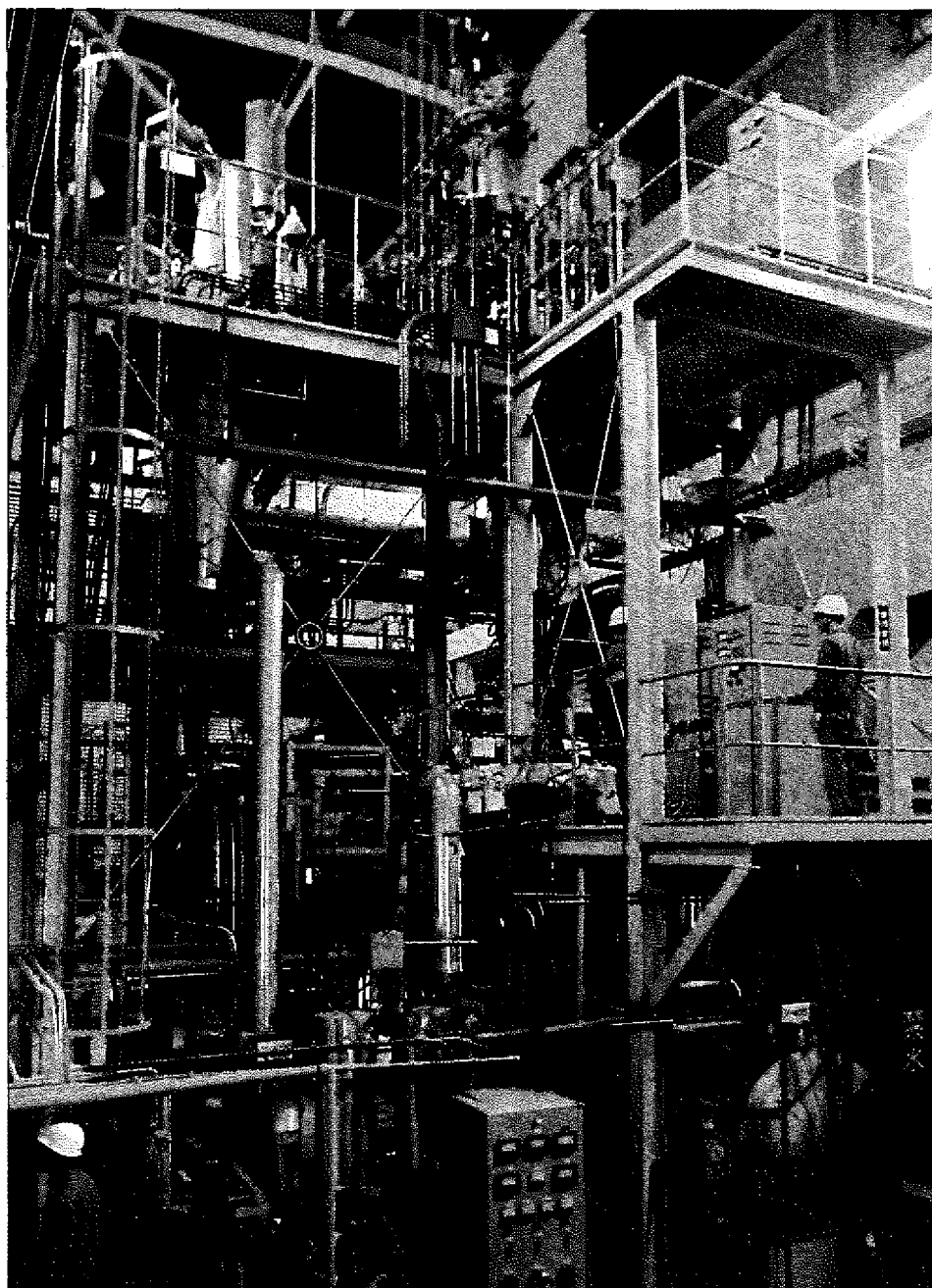


图 26. 装置全景

## 7. 結 言

小リーク Na-水反応に関する問題は極めて複雑で、その全容をつかむには多方面の研究が必要である。本試験装置は先に述べたように原型炉「もんじゅ」用 SG において当面必要となる問題点を重点的に解決することを目標として製作された。このため、試験内容もかなりしぼったものとなっているので、得られた結果を生かすには、一般レベルの違った試験又は解析が必要になる。

特に本試験装置は小リーク時に発生するウェステージの試験と開発せるリーク検出計の試験が同時に出来る様になっている点が特長でもあり、欠点ともなっている。特長としては、一の装置で両方が出来ることと云う事他に、ウェステージの起りやすい場合とリーク検出がしやすい条件との相関がわかると云うことがあげられる。具体的にはたとえば、Na の温度とウェステージ率及び Na 中に溶解する水素量との関係がわかると云った事があげられる。

欠点は、ウェステージを起させる水のリーク量と、リーク検出を問題にする水のリーク量が違ふと云う事である。実際の SG でのリークを検出するのに必要な感度を試験するには、本試験装置の反応容器内の Na 量と SG 内の Na 量との比だけ少ない水のリーク率に対して試験する必要がある。この比は約 1,000 のオーダーであり、現在試験を予定しているノズル径の下限は 0.3mm 程度であるが、このノズル径からのリーク率は水側の条件を一定として、SG 内では約 10mm の穴から水がリークした時に相当する。この場合は、もう小リークの限界をはるかに越えていて大リークに相当する。従って、水のリーク率を 1,000 分の 1 にさげる方法又は何らかの別な手段により、それに相当する水素を投入する試験が必要になる。

その他の欠点、と云うよりは普通はやむを得ない事であるが、ウェステージの検査のために毎回試験部を交換しなければならないと云う相当な労力が必要であると云うことである。連続的にウェステージの試験ができるようになれば、ウェステージに関して得られる情報は飛躍的に増大すると考えられる。

ウェステージに関しては、極小リークの実験ができるようにすることが今後の大きな課題である。ウェステージが起らない限界のリーク率をつかむことが出来、かつそのリークが検出できて、しかもコールドトラップにて不純物が十分精製できる等の条件が満されれば、ある期間、例えば定期的にプラントを停止する時までにはそのまま運転を継続すると云った事も可能となるであろう。

## 謝 辞

本試験装置の建設に当っては、本報告書の筆者以外の高速炉安全性試験室の方々をはじめ多くの諸氏の協力を得ている。試験計画、装置の概念設計に当っては、動燃、高速増殖炉開発本部の田中紀一、大洗工学センターの佐藤稔、菱田誠、亀井満の諸氏、SWAT-2装置本体及びNa中水素検出計の設計製作、試運転に当っては三菱原子力工業の渡辺崇、佐治愿、川又広、大熊照久、その他多くの諸氏の尽力によっている。さらにカバーガス中水素計の製作は東京芝浦電気の松本要氏らの全面的な協力によっている。ここに感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- (1) APDA-254
- (2) Андреев, П. А. Na-水反応専門家会議報告, (1971-5)
- (3) J. A. Bray, "A Review of the Sodium/Water Experiments at Dounreay E.R.E." Int. Working Group on Fast Reactors Special Study Group on Sodium/Water Reactions, Nov. (1968)
- (4) 日本機械学会, "ナトリウム-水反応の安全性調査および研究", (1970)
- (5) 同 上, "ナトリウム加熱蒸気発生器の安全性に関する調査研究", (1971)
- (6) 同 上, "ナトリウム加熱蒸気発生器の安全性と開発に関する試験研究", (1972)
- (7) 池本, "原型炉蒸気発生器における小規模漏洩の検出", 動燃事業団報告書, N941 71-01, (1971)
- (8) "Fast Reactor Technology", p227
- (9) NAA-SR 3638, B-3