

区分変更	
変更理由	＝
決議年月日	平成13年7月31日

# 高速実験炉「常陽」の建設記録

(冷却系統設備)



1974年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N 965 74-02
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



T N965 74-02

1974年8月

# 高速実験炉「常陽」建設記録 (冷却系統設備)

## 要 旨

高速実験炉「常陽」の建設工事のうち、原子炉冷却系については、1970年4月工事認可申請書の作成に着手し、工場製作、現地据付を行ない、1974年7月25日据付調整試験を完了したので、その設計および工事の概要について報告する。

報告者	高速実験炉建設部		
	部長	平山	省一
	次長	神崎	直二郎
	次長	坂田	肇
	機械課		
	課長	阿部	功
	課長代理	橋本	尚
	課長代理	小杉	久夫
	冷却系・廃棄物系担当グループ		
		尾尻	洋介
		大上	徹也
		竹内	幹雄
		井上	達也
		福原	英夫
		金森	俊一
		仲村	喬一
		宮口	正樹
		富田	直樹
		鈴木	幸男
		長広	義彦
		伊東	秀明



TN965 74-02

Aug. 1974

On the Construction Work of the Experimental  
Fast Reactor "JOYO"

Mechanical Engineering Section  
Experimental Fast Reactor Division

Abstract

Among of the whole construction work of the Experimental Fast Reactor "JOYO", the construction concerning reactor coolant systems started at April 1970 and almost completely finished at July 1974.

This report describes the out-line of the design concepts of the reactor coolant systems and of their construction processes.

## 緒 言

わが国の水力、火力の電気事情が年々悪化していくなかで、確実に伸びてきた原子力も1985年には6,000万kW、1990年には1億kWとなり、総発電力50%を原子力が占める様になる。現在計画あるいは建設されている発電用原子炉はすべて軽水炉であるが、この原子炉は3~5%の濃縮ウランを必要とする。しかしわが国はウラン資源にとぼしく、しかも軽水炉用に濃縮する施設もない。そこで現在燃料費の安い、また自給出来る原子炉としてクローズアップされてきたのが新型転換炉と高速増殖炉である。軽水炉の転換比は約0.6、新型転換炉で約0.8である。これに対し、高速増殖炉は1.1~1.4というように1以上になっている。つまり燃やせば燃やすほどウラン-238(燃料として使えない)がプルトニウム-239(燃料として使える)に転換する。

政府はこの新しい動力炉の開発ととりくむために、昭和42年に動力炉・核燃料開発事業団を設立した。これにもとづき事業団は10年間に2,000億円の資金を投入し、新型転換炉を1970年代半ばまでに、高速増殖炉を1980年代の半ばまでに実用化する事を目標にその研究開発にのり出した。

高速実験炉は事業団発足まで日本原子力研究所で行なってきた高速実験炉の第2次設計を引き継ぎ3次設計、調整設計をメーカーの協力の下に進め、昭和45年2月には安全審査の許可が下り、同年3月には建物工事を竹中工務店と、機器工事を東芝を主務会社として東芝、日立、三菱、富士4社と契約を締結し、実験炉の建設が具体化した。そして同年4月には高速実験炉は「常陽」と命名されて、詳細設計と現地工事が鋭意進められた。

# 高速実験炉「常陽」冷却系統設備建設

## 目 次

第1章	原子炉冷却系統施設の目的	1
第2章	原子炉冷却系統施設の構成	1
第3章	原子炉冷却系統施設の概要	2
3.1	各系統設備の概要	3
(1)	1次主冷却系統設備	3
(2)	1次補助冷却系統設備	14
(3)	オーバフロ系統設備	17
(4)	1次ナトリウム純化系統設備	20
(5)	1次ナトリウム充填ドレン系統設備	24
(6)	1次アルゴンガス系統設備	25
(7)	2次主冷却系統設備	29
(8)	2次補助冷却系統設備	33
(9)	2次ナトリウム純化系統設備	37
(10)	2次ナトリウム充填ドレン系統設備	39
(11)	2次アルゴンガス系統設備	41
(12)	原子炉冷却系諸設備	43
3.2	各系統設備の主要目	49
3.3	構造設計	62
(1)	容器および管の区分	62
(2)	設計に関する各種条件	62
(3)	設計応力強さおよび許容応力	73
(4)	応力強さの制限に関する基本思想	74
(5)	耐震設計	74
(6)	腐食	74
(7)	疲れとクリープの重ね合せ	74
(8)	熱サイクル条件および熱過渡特性	74
(9)	開発試験研究の概要	90
第4章	工事・施工	92
4.1	工事方法の概要	92
4.2	建設工程	92
4.3	設計・工事施工所掌	99
第5章	試験検査	103
5.1	試験検査の概要	103

5.2	試験検査項目および立会区分	103
5.3	実施範囲	104
第6章	建設中の問題点	106
6.1	設計から工事認可の申請までの問題	106
6.2	検査関係の問題	107
6.3	建設工事上の問題	108

## 第 1 章 原子炉冷却系統施設の目的

原子炉冷却系統施設は、原子炉で発生する熱を炉のいかなる状態においても安全に除去し、大気に放散することを目的とする。

## 第 2 章 原子炉冷却系統施設の構成

原子炉冷却系統施設は、次の各設備により、構成される。

- (1) 1次主冷却系統設備
- (2) 1次補助冷却系統設備
- (3) 1次ナトリウム純化系統設備（ナトリウムサンプリング系統設備を含む）
- (4) オーバフロ系統設備
- (5) 1次ナトリウム充填ドレン系統設備
- (6) 1次アルゴンガス系統設備（アルゴンガスサンプリング系統設備を含む）
- (7) 2次主冷却系統設備
- (8) 2次補助冷却系統設備
- (9) 2次ナトリウム純化系統設備
- (10) 2次ナトリウム充填ドレン系統設備
- (11) 2次アルゴンガス系統設備
- (12) 原子炉冷却系諸設備



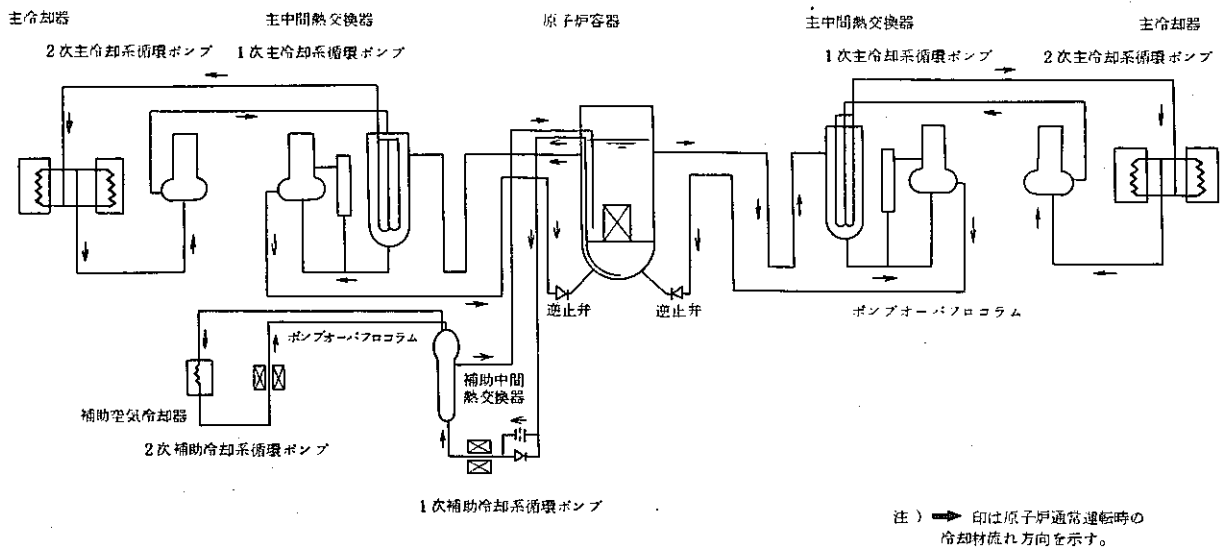
### 第3章 原子炉冷却系統施設の概要

原子炉冷却系統設備は、炉心を含む1次ナトリウム系と炉心を含まない2次ナトリウム系統よりなり、各々主冷却系統2系統、補助冷却系統1系統および充填ドレン系統などの付属系統よりなる。

冷却材は液体金属ナトリウムで、1次ナトリウム系機器は、格納容器内の窒素ガス雰囲気中に置かれ、2次ナトリウム系は一部を格納容器内窒素ガス雰囲気に、主冷却系統設備の残りの部分は原子炉建物に隣接して施設する主冷却機建物、補助冷却系統の残り部分は、原子炉付属建物内に収納される。主冷却機建物および原子炉付属建物に施設された冷却系統機器の周辺は空気である。

第3-1図に原子炉冷却系統のうち主冷却系及び補助冷却系を示す。原子炉で発生した際は中間熱交換器に運ばれ、ここで2次冷却材に伝えられる。2次冷却材に伝えられた熱は、冷却器に入り、大気に放散される。主冷却系の冷却材は1次2次共に機械式ポンプ、補助冷却系の冷却材は、1次2次共に電磁ポンプで循環される。

原子炉冷却系統施設はまた、液体金属ナトリウムに必要となる設備或いはそれらを考慮した設備を持っている。



第3-1図 原子炉冷却系系統図

すなわち、ナトリウム純化系統設備、オーバーフロ系統設備、ナトリウム充填ドレン系統設備、アルゴンガス系統設備および原子炉冷却系諸設備がそれらに属し、これらは、オーバーフロ系統設備を除き、1次冷却系、2次冷却系の各々に設備されている。

ナトリウム純化系統設備は、冷却材を所要の純度に保ち、冷却材としての性能を維持するための設備で、不純物除去はコールドトラップにより行なう。

オーバーフロ系統設備は、1次冷却系に設備され、原子炉容器内ナトリウム液位を、一定に保つ機能を有する。炉容器内ナトリウムは温度変化により、その体積が膨張収縮するのでオーバーフロ系統によりこの変動分を吸収し、炉容器内ナトリウム液位を一定に保つ。

ナトリウム充填ドレン系統設備は、冷却材であるナトリウムを受入れ系統内に充填し或いは、メンテナンス時など系統内のナトリウムをドレンし貯蔵する。

アルゴンガス系統設備は、冷却材であるナトリウムの液面を覆い不純物の混入を防ぐ目的で設備されるが、合せて、機械式ポンプのシールガス、制御棒駆動装置のバックアップガス、燃料交換機、出入機のサービスガスとして使用される。

原子炉冷却系諸設備は予熱設備、窒素ガス、アルゴンガス供給設備および格納容器貫通部冷却系統設備からなる。

主冷却系は、2系統で100MWの除熱能力を有するよう設計されている。原子炉の制御方式は、冷却材流量並びに原子炉入口冷却材温度一定方式であり、系統の温度制御は2次冷却系に設備される冷却器の空気流量を調整することにより行なう。

原子炉停止後の崩壊熱除去は、主冷却系の除熱能力を減少して行なう。

補助冷却系は、何らかの原因で主冷却系統による崩壊熱除去が出来なくなった場合および炉内検査時の崩壊熱除去を行なうために設備され、定格容量は2.6MWである。

原子炉冷却系統設備の概略配置図を第3-2図から第3-7図に示した。

### 3.1 各系統設備の概要

#### (1) 1次主冷却系統設備の概要

1次主冷却系統設備は、炉心で発生した熱を吸収し、主中間熱交換器を介して2次主冷却系統設備へ伝達し、また原子炉停止後の崩壊熱の除去を行なうものであり、主に次の各部より構成されている。

主中間熱交換器

主循環ポンプ

主電磁流量計

サイフォンブレイクライン電磁流量計

配管及び逆止弁

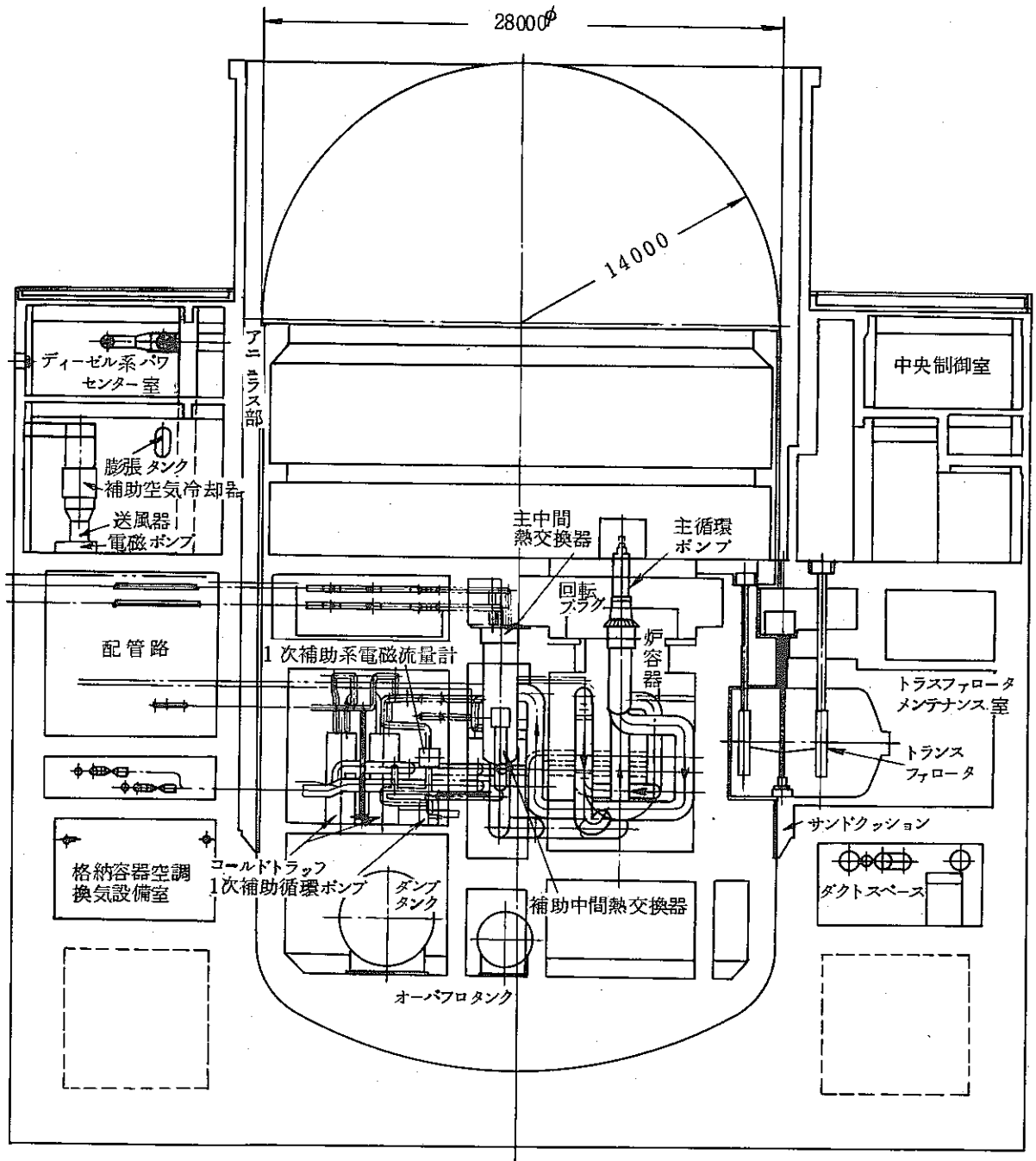
1次主冷却系は、A、Bの2系統あり、2系統で100MWtの除熱能力を有している。原子炉出力100MWtの時の原子炉入口ナトリウム温度は370°Cで出口温度は500°Cであり、ナトリウム流量は1ループ当たり1085.6ton/hrである。炉容器、主中間熱交換器、主循環ポンプおよびポンプオーバーフロコラムで自由液面を有し、液面上はアルゴンガスで覆われている。

燃料交換時の崩壊熱除去も主冷却系にて、定格流量の約30%で行なう。

原子炉を冷却したナトリウムは、1ループに1基設置されている主中間熱交換器にて500°Cから370°Cに冷却され、主循環ポンプ、電磁流量計、逆止弁を経て炉容器に還流する。1次主冷却系の系統図を第3-8図に示した。

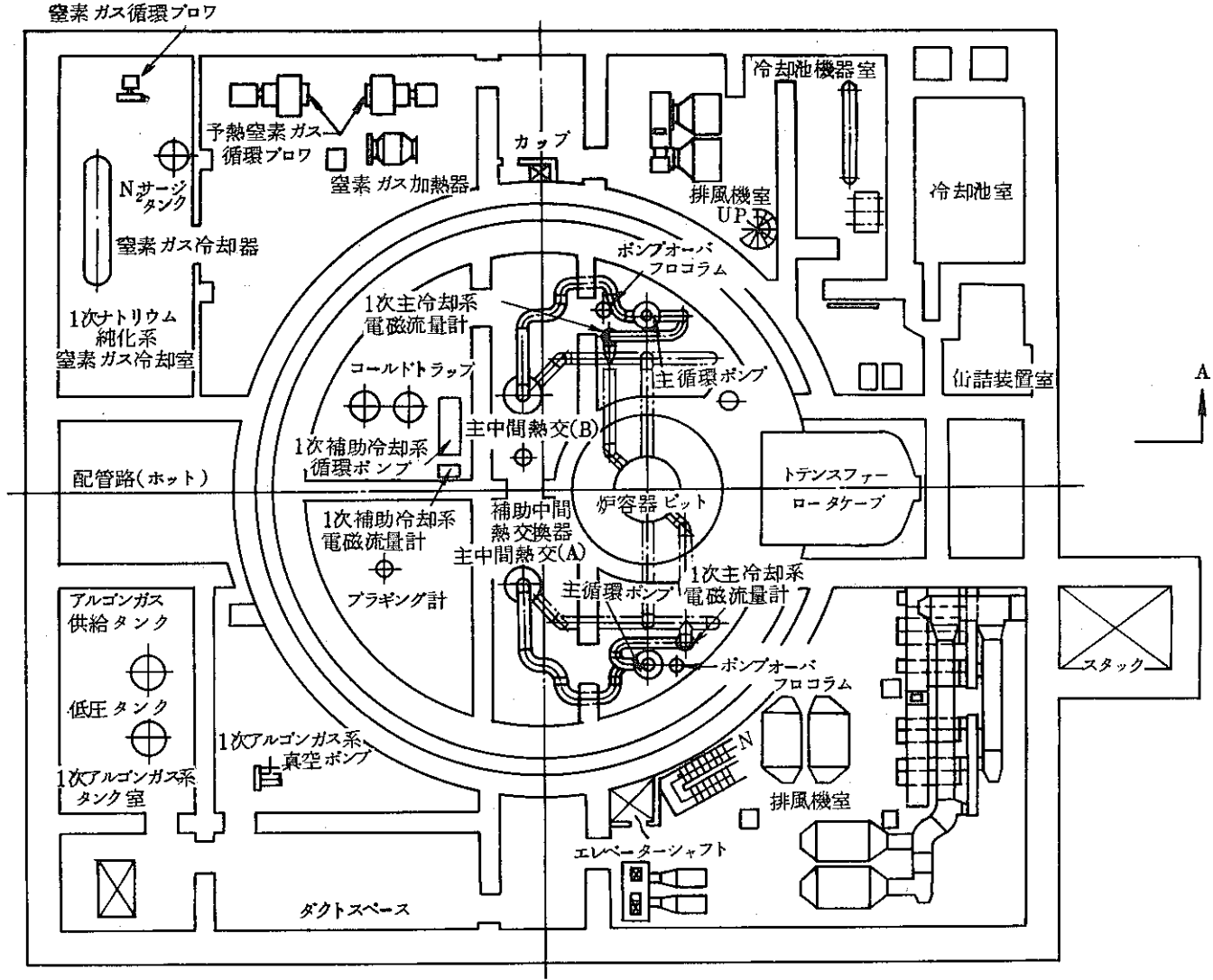
主循環ポンプ吸込側の主配管にはポンプオーバーフロコラムがつながっており、ここにはポンプのオーバーフローナトリウムと炉容器入口主配管部分から分岐したサイフォンブレイクラインからナトリウムが流れ込む。

サイフォンブレイクラインは、主冷却配管の低部でナトリウムが漏洩した場合（内管、外管

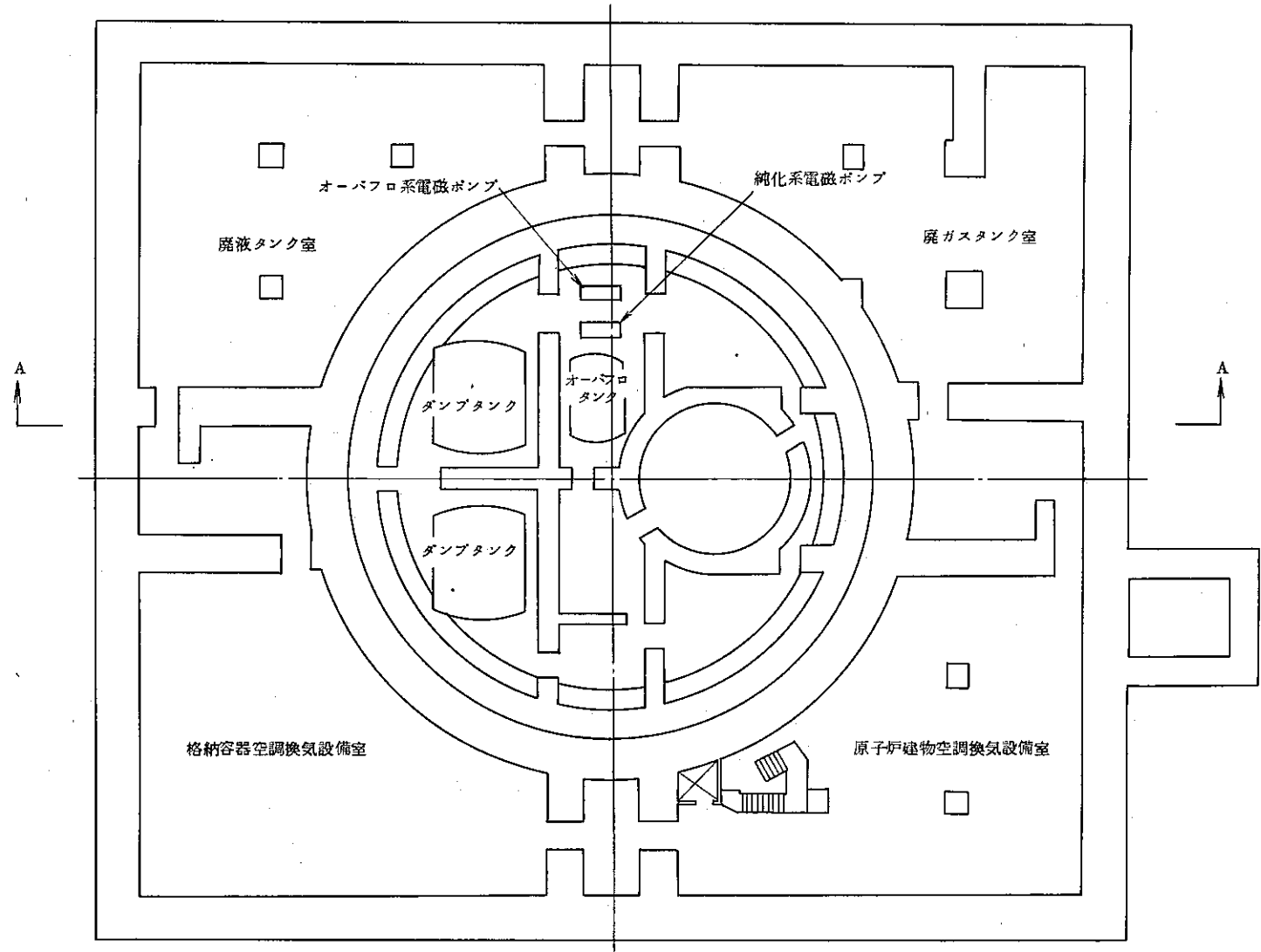


A-A 断面

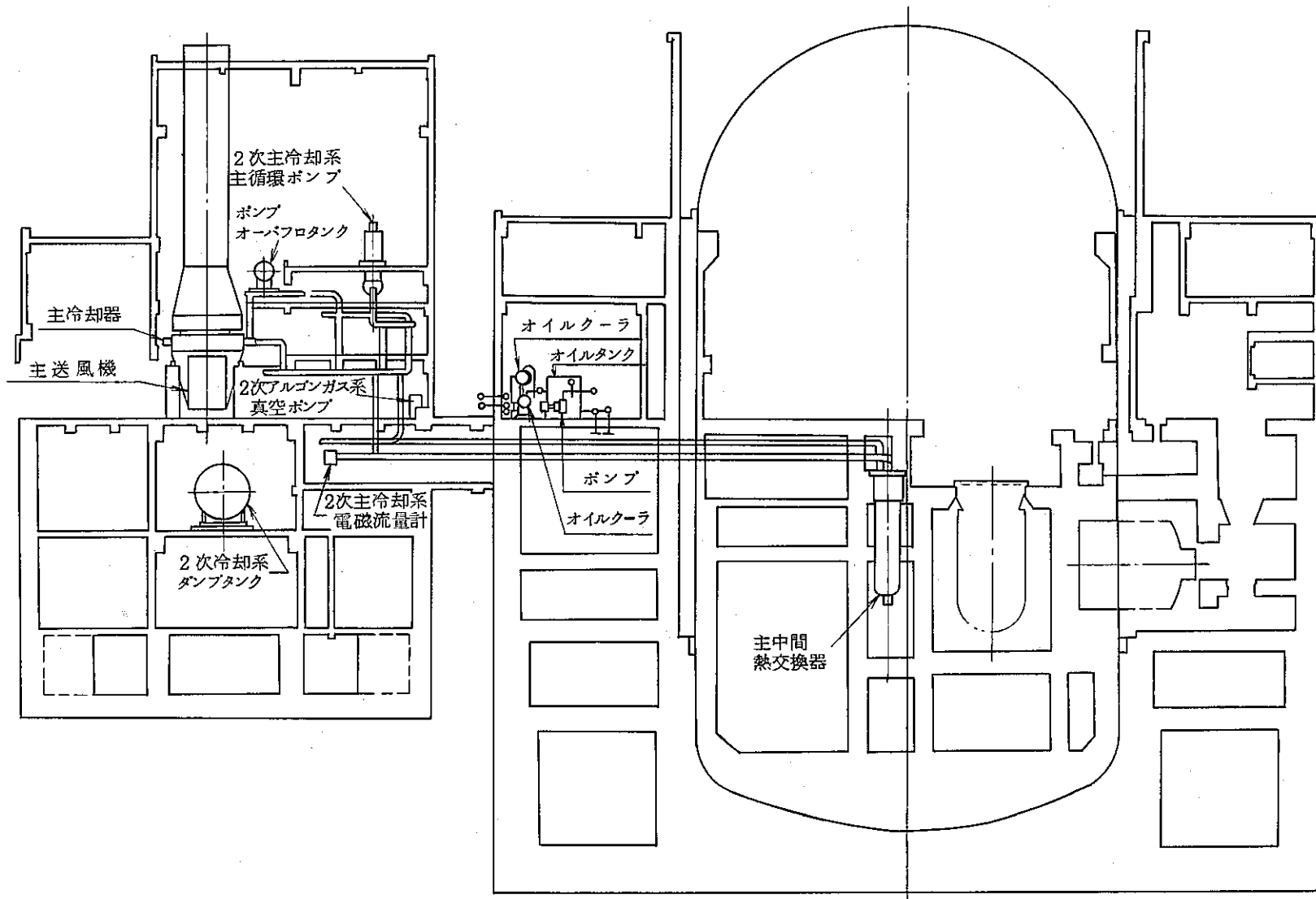
第3-2図 原子炉冷却系統設備配置図



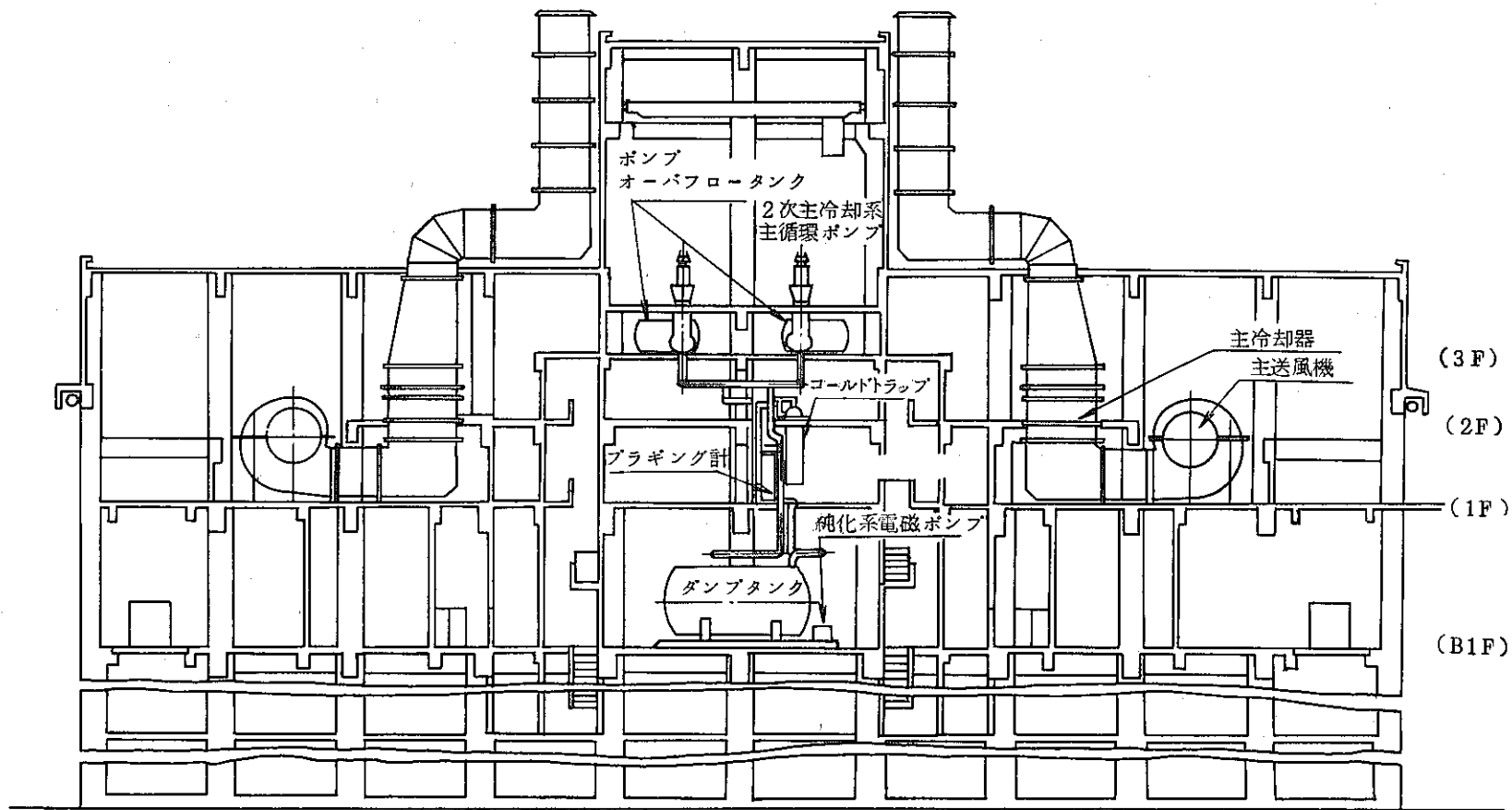
第3-3図 原子炉建物内配置図(地下中2階平面図)



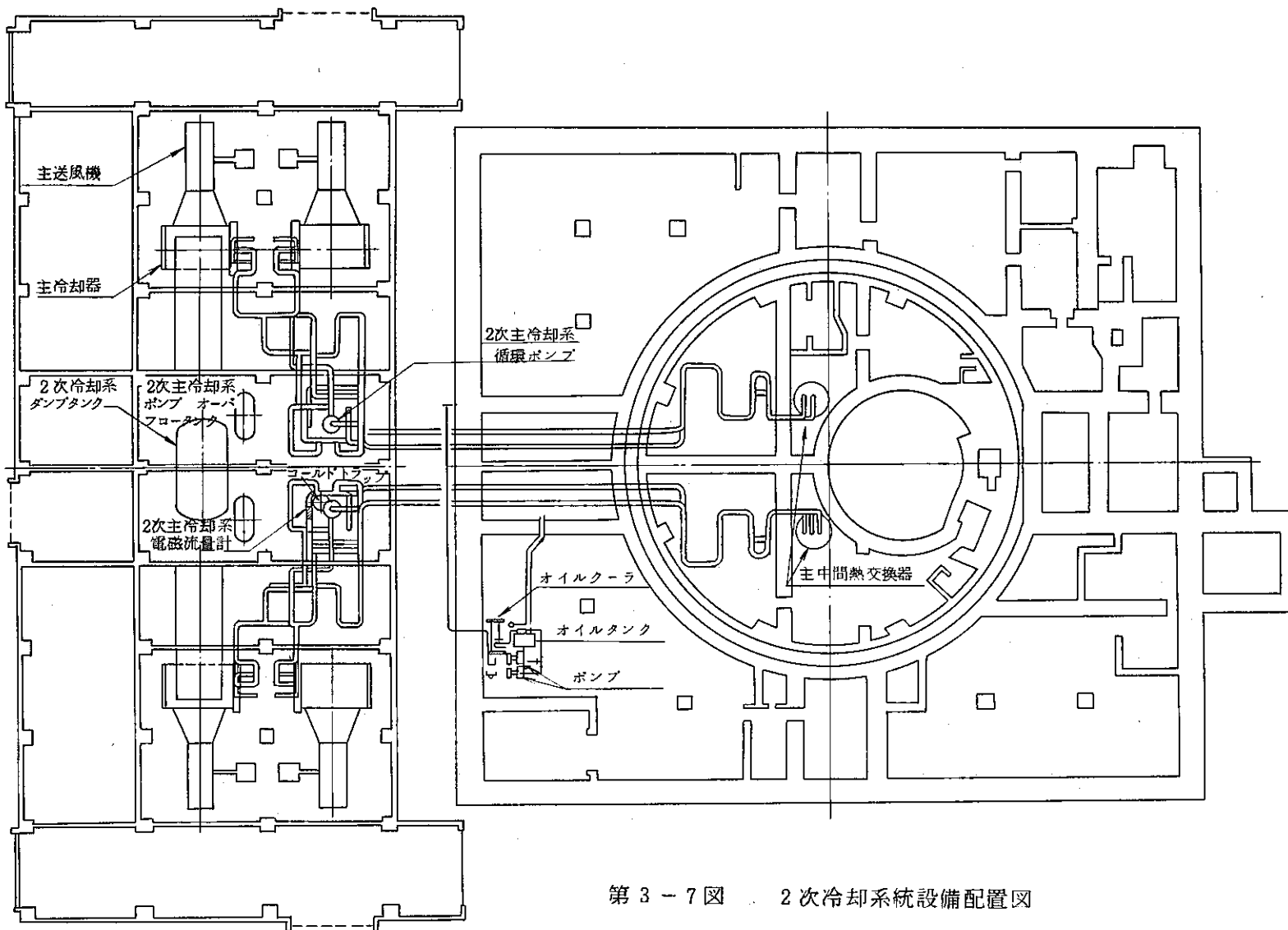
第3-4図 原子炉建物配置図(地下2階平面図)



第 3 - 5 図 2 次冷却系統設備配置図

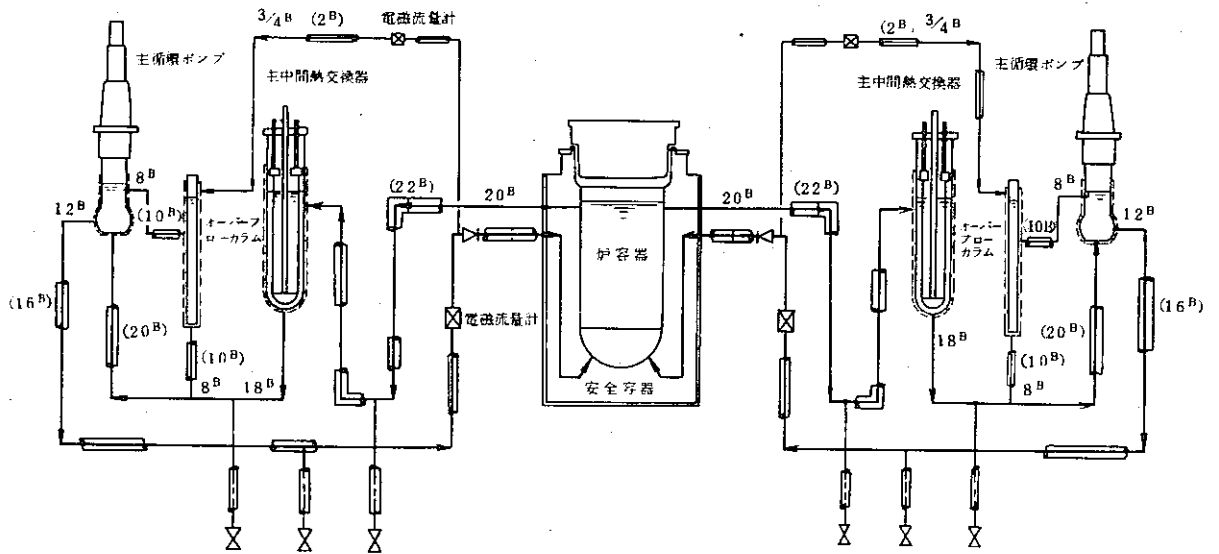


第 3 - 6 図 2 次冷却系設備配置図 (正面)



第 3 - 7 図 2 次冷却系統設備配置図





( )内寸法は外径を示す。

第 3 - 8 図 1 次主冷却系系統図

ともに破損した場合)サイフォン効果で炉容器内ナトリウムが汲出してしまうのを防止するために設けられている。このラインは主冷却系の炉容器入口配管の安全容器入口部から、他端はポンプオーバーフローコラムのガス領域に開口している。主冷却系平常運転時には、炉容器入口配管の方が圧力が高いため、サイフォンブレイクラインのナトリウムは逆流している。

またサイフォンブレイクラインには電磁流量計を設け、サイフォンブレイクラインの閉塞防止のために、その流量を監視している。

(i) 主中間熱交換器

主中間熱交換器は、1 ループに 1 台、計 2 台設置されている。それらの構造は細部を多少異にするが、ほぼ同一である。2 台の主中間熱交換器は、格納容器内東側および西側の主中間熱交換器室の地下中 1 階 (GL. -3400mm) に据付けられ、それぞれ A, B と称する。

2 台の熱交換器は「たて形自由液面シェルアンドチューブ」型のナトリウム-ナトリウムの熱交換器である。構造は胴部、管束部および遮蔽材に大別され、胴部は上方から順次、上部フランジ、上部胴体、胴フランジおよび下部胴体から成り、上部胴体には遮蔽材、下部胴体には管束部がそれぞれ挿入されている。下部胴体にはリークジャケットが取付けられ、ナトリウムの漏洩検出および熱交換器のガス循環路となっている。下部胴体の側面には 1 次ナトリウム入口ノズル、下部胴体の鏡板には 1 次ナトリウム出口ノズルがあり、その上方に管束の振れ止めが設けられている。ナトリウムの流れが直接当る壁面には熱遮蔽板を設け、1 次ナトリウムの熱衝撃から内部を保護する構造となっている。

管束部は、管束、ダウンコマ、シュラウド、上部プレナムおよび下部プレナム、これらに付属するナトリウム入口管、出口管などから成り、これらを一体として、下部胴体に挿入し、上部プレナムに取付ける構造になっている。伝熱管は直管で上下の部分は、それぞれ上部管板と下部管板に溶接されている。また伝熱管寸法は主中間熱交換器 A が外径 15.9 mm、肉厚

1.0mm, 総数 2835 本の同心円, 周方向等間隔配列である。主中間熱交換器 B は外径 22.2mm, 肉厚 1.2mm, 総数 1812 本の正三角形配列である。

2 次ナトリウム入口管は上部プレナムの中心を貫通して下部管板に溶接されている。ダウンカマと伝熱管の運転時の温度差に起因する過大荷重防止のために入口管が上部プレナムの部分で軸方向にベローズによりスライドできる構造で, 同時にベローズによりカバーガスのシールを行なう。

伝熱管の振動を制限するために主中間熱交換器 A は伝熱管相互に伝熱管振止め金具を取付け, 主中間熱交換器 B は, 管束支持板を設けてある。

内側シュラウドは, ダウンカマの熱遮蔽板を兼ねたものとし, 外側シュラウドは 1 次ナトリウム入口ノズルから流れ込むナトリウムから伝熱管を保護する役目を兼ねたものとする。

遮蔽体は  $\gamma$  線を遮蔽することを目的とし, 炭素鋼域いは, 普通コンクリートを構成材として, 上部胴体に収納されている。

概略構造を第 3-9 図に示す。

## (II) 主循環ポンプ

主循環ポンプは堅形 2 軸受自由液面式遠心ポンプであり, ポンプ本体はインペラ, デフューザ, 軸, 軸受, 軸封機構, 熱遮蔽およびガンマ線遮蔽プラグ等から成り, メンテナンス時には配管と接続している外ケーシングを残し, ポンプ本体のみを引出すことができる。外ケーシングのナトリウムに接する部分はリークジャケットで覆う二種構造とし, ポンプの予熱および万一ナトリウムが漏洩した時のナトリウムの検知と保持を行う。

主中間熱交換器から流れてきたナトリウムは外ケーシングの下部から吸込まれ, インペラにより加圧されてデフューザを通り, 高圧室に入り, 吐出口より水平に流出する。高圧ナトリウムの一部は本体下部のナトリウム潤滑静圧軸受に供給される。静圧軸受から流出したナトリウムは, ポンプ内液面を一定に保つために設けたオーバフロノズルからポンプオーバフロコラムに流出しポンプ吸込側に戻る。

ナトリウム液面はアルゴンカバーガスで覆い, アルゴンガスと外気とはメカニカルシールでシールしている。このメカニカルシールおよびポンプ上部のころがり軸受は潤滑油を使用しており, 潤滑装置はアルゴンカバーガスが外気に漏洩しないように密閉回路とし, また潤滑油がナトリウム中に流入しないよう脇に流し出す構造となっている。ナトリウム蒸気がメカニカルシール部に上って来るのを防ぐため, 外部から清浄アルゴンガスをシール部に供給しポンプ内にブローさせている。

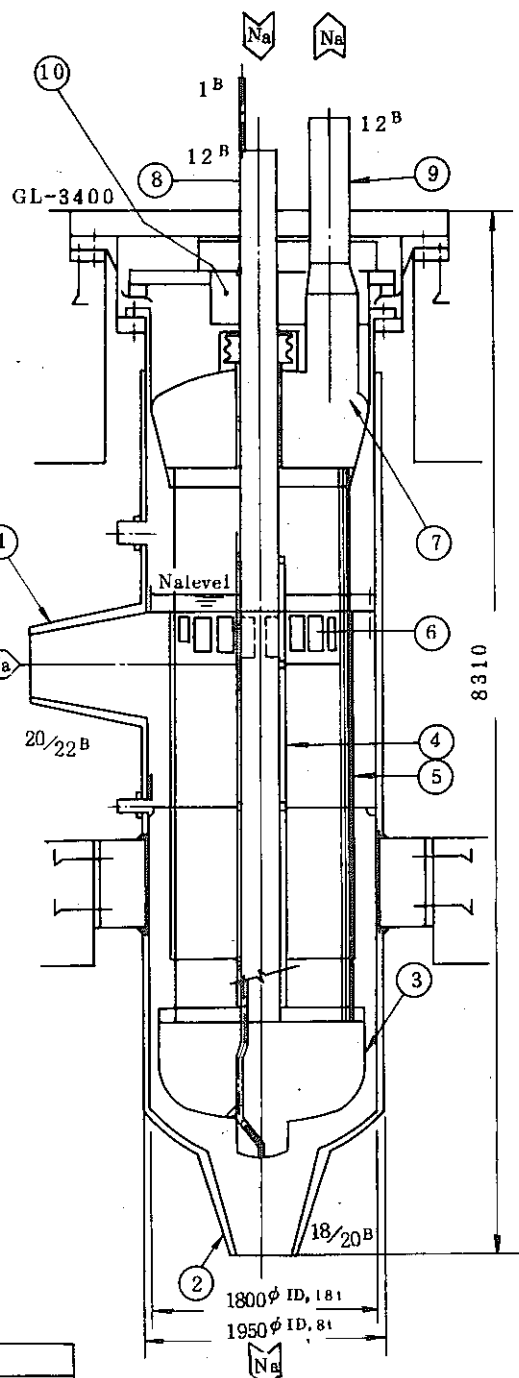
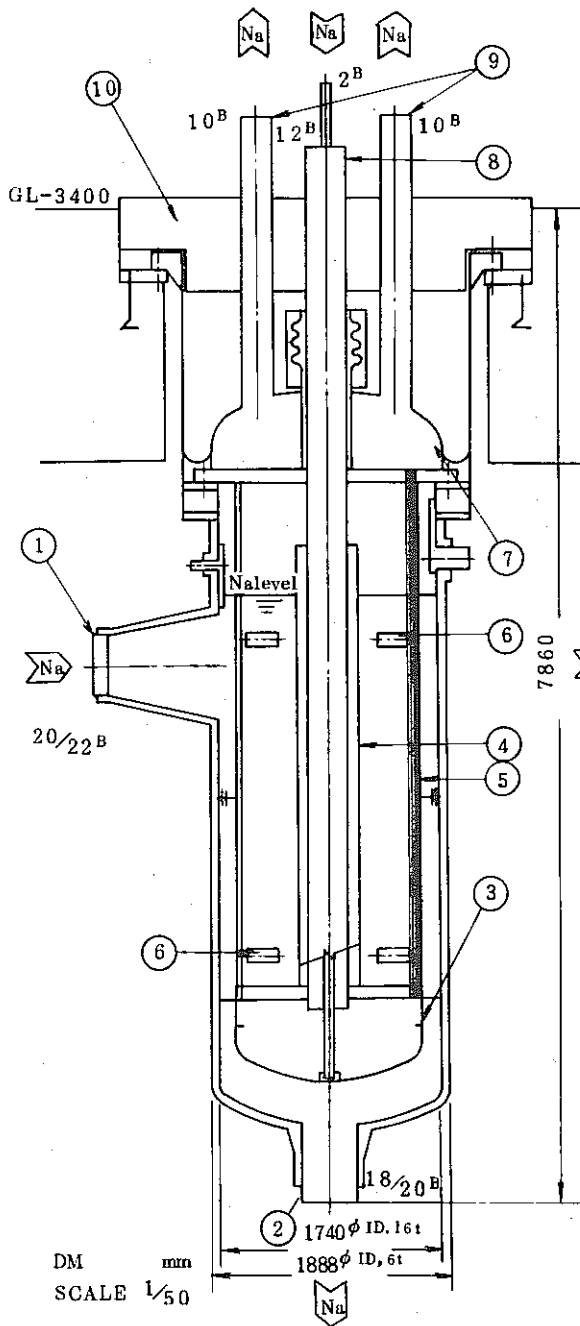
ポンプ上部には軸継手を介して, 駆動用主電動機が取付けられ, 流量制御は主電動機の回転数制御によって行ない, その範囲は 30~100% 連続可変である。

この他に主電動機故障の場合に主ループに定格流量の 14% の流量を流せるように非常用電源で動く直流電動機 (ボニーモータ) を備えている。

概略構造を第 3-10 図に示す。

主中間熱交換器 (A)

主中間熱交換器 (B)



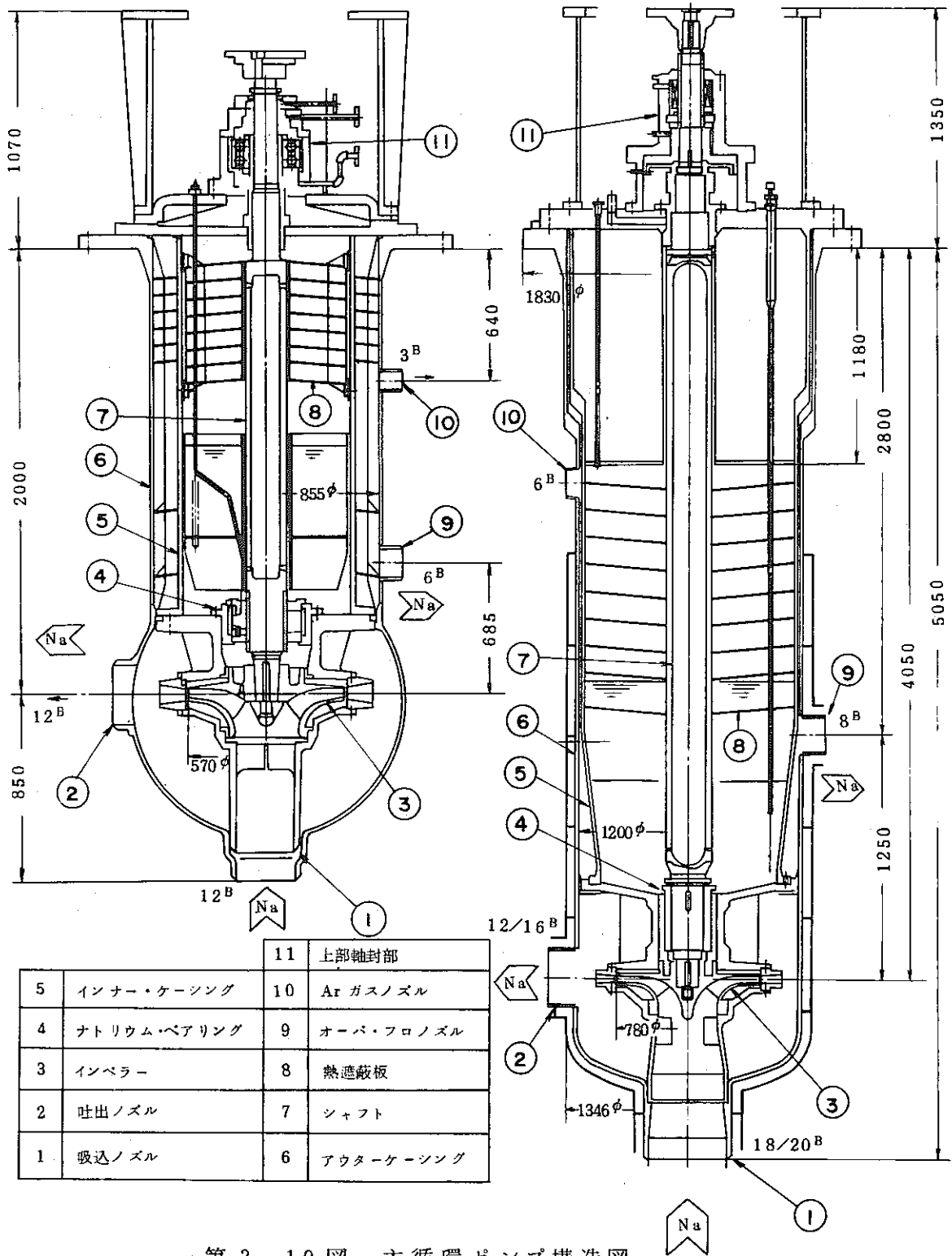
5	外側シュラウド	10	遮蔽体
4	内側シュラウド	9	2次ナトリウム出口ノズル
3	2次側下部プレナム	8	2次ナトリウム入口ノズル
2	1次ナトリウム出口ノズル	7	2次側上部プレナム
1	1次ナトリウム入口ノズル	6	内胴窓

伝熱管諸元		
	(A)	(B)
外径	15.9 mm	22.2 mm
肉厚	1.0 mm	1.2 mm
長	4000 mm	4130 mm
本数	2835	1812
配列	同心円	正三角形

第 3 - 9 図 主中間熱交換器構造図

2次主循環ポンプ

1次主循環ポンプ



第3-10図 主循環ポンプ構造図

## (iii) 主電磁流量計

1次主冷却系電磁流量計は、空心鞍形コイル式で1次主冷却系配管保温材外側にボビンを介して励磁コイルが設置されている。流量計は、主循環ポンプの出口配管、すなわち炉容器入口配管のうち安全容器を貫通する直前の垂直部に取付けられる。

## (iv) サイフォン・ブレイクライン電磁流量計

サイフォン・ブレイクライン電磁流量計は、1次主冷却系配管の炉容器入口よりポンプオーバーフローコラムに通ずるサイフォンブレイクラインのナトリウム流量を監視し、流量低にて警報を出す。形式は磁界中を流れるナトリウム流量に比例して発生する起電力を出力信号として取出す永久磁石式である。流量計のダクトは配管と突合せ溶接により接続されて、配管の一部を形成し、外側にリークジャケットがあり、2重壁構造になっている。

## (v) 配管および逆止弁

主冷却系配管は2重管構造になっており、内管、外管ともSUS27HPの溶接管で内管と外管はスペーサで、同心に保持されている。配管は、ラグ部分をハンガーダンパー等で支持されているが、ラグは内管に溶接され外管に貫通する部分も溶接されている。内管と外管の熱膨張差を逃げるために外管にはベローズを取付けてある。また外管は炉容器、主中間熱交換器主循環ポンプのリークジャケットと同一バウンダリを構成しており、漏洩ナトリウムの保持、検知、予熱室系ガスの通路を形成している。

逆止弁は、2系統ある1次主冷却系のうちどちらかの主ポンプが停止した場合、またはどちらかのループが漏洩した場合、健全ループからのナトリウムが異常ループに逆流し、炉心の冷却材流量が減少するのを防止するために設けられている。

## (2) 1次補助冷却系統設備

1次補助冷却系は主に次の各部より構成されている。

補助中間熱交換器

電磁ポンプ

電磁流量計

配管および弁類

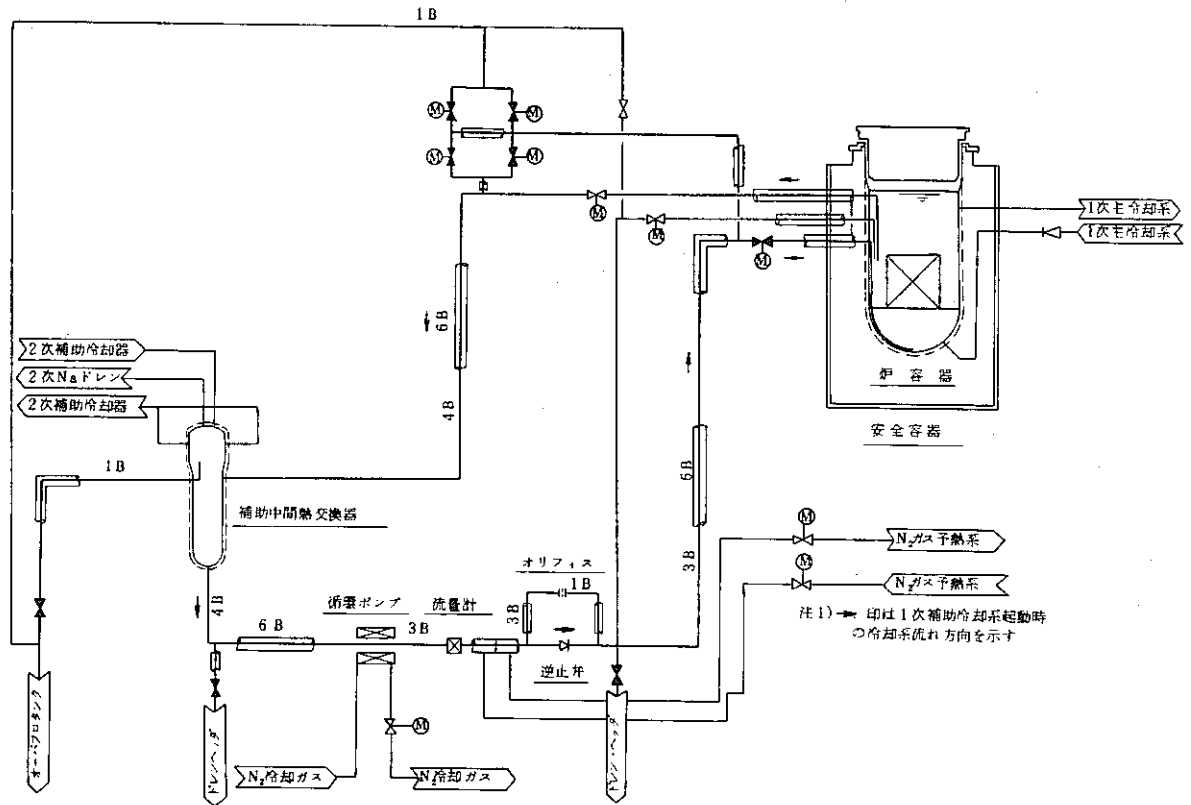
本系統設備は1次主冷却系で炉心での熱除去ができなくなった場合、原子炉内ナトリウムレベル低下時、および炉内検査時に崩壊熱の除去を行ない、補助中間熱交換器を介して2次補助冷却系へ熱伝達を行なうものである。

原子炉平常運転時は、原子炉高圧プレナムから、原子炉上部プレナムへ定格流量56.5 ton/hrの約30%にて逆流している。この状態では電磁ポンプは停止中であり、補助系配管内ナトリウムが滞留しないように逆止弁にオリフィス付きのバイパスラインが設けられて逆流を可能にしている。

1次主冷却系と同様に1次補助系配管が安全容器外で破損した場合に炉容器内のナトリウム液面が過度に低下しないようにサイフォンブレイク配管が設けられている。

系統図を第3-11図に示す。

本系統で移送する熱量は、最大2.6 MW tであり、最大除熱運転時のナトリウム温度は、炉容器入口370°C流量は56.5 ton/hr の設計である。



第3-11図 1次補助冷却系系統図

(i) 補助中間熱交換器

補助中間熱交換器は、1次補助冷却系に1台設置され、原子炉格納容器のほぼ中央、西側主中間熱交換器室内に2本のハンガにより天井から吊下げた状態で取付けられる。

補助中間熱交換器は、たて置シェルアンドチューブ形の熱交換器である。構造は、大別して1次側胴体と2次側管束部およびそれにつながる2次側胴体より成り、1次側胴体にはリークジャケットが取付けられており、ナトリウムの漏洩検出および熱交換器の予熱ガスの循環路として使用される。

1次側胴体には上方側面に1次ナトリウム入口ノズルが取付けられており、下部鏡板には1次ナトリウム出口ノズルが取付けられている。

2次側管束部は、伝熱管束、管束部内胴、管束部外胴、下部プレナムおよびナトリウム入口管から成り、2次側上部胴体から吊下げられる構造である。2次側上部胴体には2次ナトリウム出入口管が取付けられており、1次側胴体に接続するフランジと一体構造をなす上部

管板により管束部と結合している。

伝熱管は外径 15.9mm, 肉厚 1.1mm (公称) の直管であり, 総数 132 本を同心円配列とし, 上下管板に溶接されている。

(ii) 1次補助冷却系循環ポンプ

1次補助冷却系循環ポンプは, 補助系起動時に冷却材である 1次補助冷却系内ナトリウムを原子炉容器と補助中間熱交換器との間に循環せしめるポンプである。

1次補助冷却系循環ポンプの形式はフラット・リニア・インダクション型電磁ポンプでナトリウムが流れるダクト本体, 励磁用コイルを巻装した固定子および外枠等から構成されている。

ダクト本体はナトリウム通路を形成し, 矩形ダクト部, 断熱材およびインターロック用検出素子などより構成される。矩形ダクト部はナトリウム漏洩を考慮して, 2重壁構造となっており, 内ダクトの上下面には銅のエンド・バーを溶接により取付け, 特性の改善を計っている。

固定子は三相誘導電動機の固定子を直線状にしたような平板状固定子をダクト本体の両側に対向して置かれている。固定子は珪素鋼板製鉄心と冷却用フィンおよび鉄心のスロット内に巻装された三相多極巻線などから構成されている。

本枠は固定子およびダクト本体の保持および強制冷却用窒素ガスの出入口, ダクトの熱膨張を吸収するためのベローズ, 架台などより構成され, ほぼ直方体形状をしている。

1次補助冷却系循環ポンプは格納容器内コールド・トラップ室床面 (BM 2階, GL - 14200 mm) に据付けられている。

(iii) 1次補助冷却系電磁流量計

1次補助冷却系電磁流量計は系統の冷却材流量を計測する目的で循環ポンプ吐出側の垂直配管部に取付けられている。形式は永久磁石式で, 1次補助冷却系配管と共用するダクト部と永久磁石を含む磁気回路とから構成されている。

(iv) 配管及び弁類

1次補助冷却系を構成する配管は

炉容器出口ノズル～補助中間熱交換器

補助中間熱交換器～循環ポンプ

循環ポンプ～炉容器入口ノズル

の主配管と

逆止弁バイパス配管

補助中間熱交換器ガス抜き配管

サイフォン・ブレーク配管

の付属配管である。逆止弁バイパス配管は系統逆流時のナトリウム通路であり, オリフィス

を設け逆流量の調整を計っている。補助中間熱交換器ガス抜き配管は系統へのナトリウム充填時、補助中間熱交換器内のガスを抜くための配管で、1次系オーバフロタンクのカバーガスピレナムに接続されている。サイフォン・ブレイク配管は、1次補助冷却系にナトリウム漏洩が生じた場合、サイフォン作用により炉容器内ナトリウムが汲出されるのを防止するため、ナトリウム充填ドレン時のガス系配管として設備されている。1次補助冷却系配管は補助中間熱交換器ガス抜き配管およびサイフォン・ブレイク配管の第1止弁以後が1重管であることを除きすべて2重管であり、内管破損による漏洩ナトリウムの保持機能を有し、主配管の2重管アニュラスは系統予熱用高温窒素ガスの通路として使用される。

主配管には炉容器出入口配管に止弁が、循環ポンプ～炉容器入口ノズル間に逆止弁が設けられ、サイフォン・ブレイク配管には弁座よりのナトリウム漏洩とサイフォン・ブレイク作用の信頼性とを考慮して4個の弁が設けられている。

### (3) オーバフロ系統設備

オーバフロ系統設備は原子炉容器の冷却材液位を常時一定に保持する設備であり、冷却材の温度変化による体積変化或いはナトリウム漏洩による冷却材の減少など、冷却材変動によって冷却能力に支障を来たすことを防止するものである。

オーバフロ系統設備は次の各部分より構成される。

オーバフロ・タンク

オーバフロ系汲上げポンプ

オーバフロ系流量計

配管及び弁類

オーバフロ系統設備は1次冷却系に設備される系統であり原子炉容器のナトリウム液位を原子炉定常運転時、常に一定値（GL-6100mm）に保持するようになっている。系統図を第3-12図に示す。原子炉容器内ナトリウムの増加分はGL-6100mmに取付けられるオーバフロノズルより溢流し、格納容器地下2階床面に据付られる1次系オーバフロタンクに自然落下する。一方、タンク内ナトリウムはオーバフロ系汲上げポンプにより常時定格流量11 ton/hrで原子炉容器に汲上げられ、液位の減少を補う。汲上げ容量11 ton/hrは冷却材の最大温度変化率50°C/hrから計算した体積変化率1.7 m<sup>3</sup>/hrに余裕をみて定めた値である。

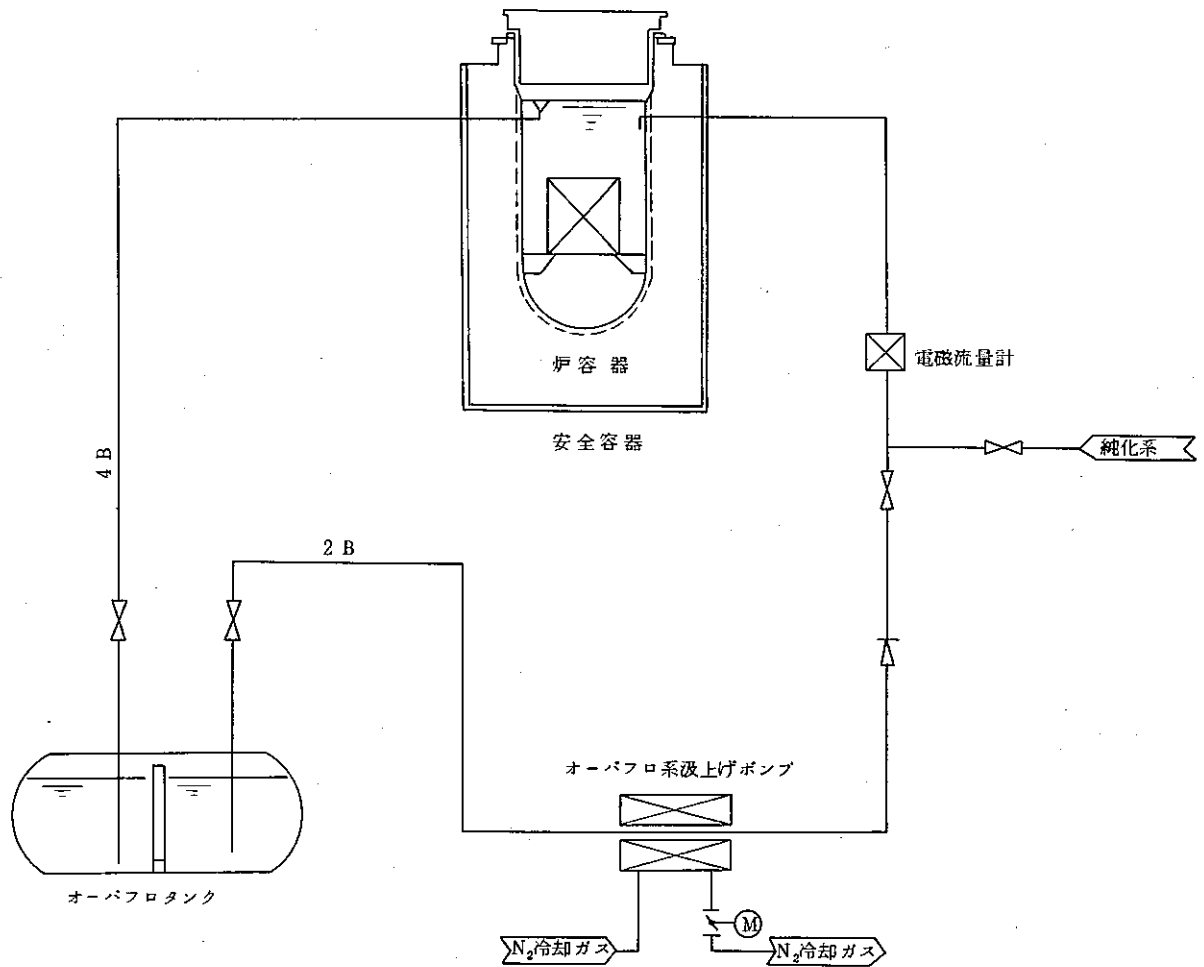
オーバフロ系汲上げポンプは1次ナトリウム充填ドレン系統設備と併用し、ナトリウムを系統に充填する駆動ポンプとしても使用する。

タンク内のナトリウムは1次ナトリウム純化系統設備により純化され、系統に汲上げられる。純化効率を高めるためタンクには隔離用バッフルが設けられている。

タンクには系統のドレン弁に接続するナトリウムの戻り系統があり、ドレン弁の弁座漏洩による冷却材の減少を防止している。

本系統を流れる1次冷却材は、放射性であるため系統を構成するすべての機器、配管は格納容器に収納され、高温のナトリウムの漏洩による火災の発生を防止するため、窒素雰囲気





第3-12図 オーバフロ系系統図

われている。

本系統を構成する機器、配管のうち、ポンプのダクトを除いてすべて電気ヒータで予熱される。ポンプのダクトは、誘導加熱により予熱される。

(i) オーバフロタンク

オーバーフロタンクは1基あり横置円筒型の皿形側部鏡板を持つステンレス鋼製タンクである。主要寸法は内径3000mm、長さ4528mm、胴及び鏡板厚14mmであり、内容積28m<sup>3</sup>は系統内のナトリウムが500°Cから150°Cになった時の体積変化が12m<sup>3</sup>であることに余裕をみて定めた値である。

タンクは通常運転時、約20m<sup>3</sup>のナトリウムが収納され、格納容器地下2階床面に据付けられている。

取付けられるノズルはオーバーフロ汲上げ及び戻り用ノズル、1次ナトリウム純化系用ノズル

ル、ドレン弁戻り用ノズル、カバーガス用ノズルであり、これらの他に温度、圧力及び液面計測器用ノズルがある。ナトリウム用ノズル位置は隔離用バフフルプレートを介し、純化効率を高くするよう考慮されている。

予熱設備としては電気ヒータが設備され、熱放散を少なくするようタンク全周に保温材が巻かれている。

#### (ii) オーバフロ系汲上げポンプ

オーバフロ系汲上げポンプは、常時運転され、1次冷却材のうち、原子炉容器からあふれ出て、オーバフロタンクへ流入したものを、再び炉容器へ汲上げるためのポンプである。さらに、1次冷却材を、冷却回路へ充填する際にも使用できる。

オーバフロ系汲上げポンプの形式は、フラット・リニア・インダクション型電磁ポンプで、ナトリウムが流れるダクト本体、励磁用コイルを巻装した固定子および外枠等から構成される。励磁用コイルの冷却は、雰囲気調整系により供給される窒素ガスにより行なわれる。

ダクト本体は、ナトリウム通路を形成する矩形断面形状のポンプダクトと高温のダクトから固定子への伝熱を防ぐと共に、ダクトの保温を行なうためにダクトを包む断熱材およびインターロック用温度検出素子等より構成される。ポンプダクトの上下面に、銅のエンドバーを溶接により取り付け、特性の改善を計っている。

固定子は、三相誘導電動機の固定子を直線状にして、ダクト本体の両側に対向して置かれた如き、2個の平面状固定子である。固定子は、珪素鋼板製鉄心と冷却用フィンおよび鉄心のスロット内に巻装された三相巻線等から構成されている。

外枠は、固定子およびダクト本体の保持および強制冷却用窒素ガスの出入口、ダクトの熱膨張を逃げるためのベローズ、架台等より構成され、外枠の概略形状は直方体である。

#### (iii) オーバフロ系電磁流量計

この電磁流量計はオーバフロ系内を流れるナトリウム流量を測定するもので、磁界中を流れるナトリウムの流量に比例して発生する起電力を信号出力として取り出して測定する。

形式は永久磁石式で、内部をナトリウムが流れる流量計ダクトおよび、永久磁石を含む磁気回路等から構成される。

流量計ダクトは、配管と突合せ溶接によって、接続されて配管の一部を形成する。

#### (iv) オーバフロ系配管および弁類

オーバフロ系を構成する配管は、

- (a) 炉容器オーバフロノズル～オーバフロタンク戻りノズル(4B)
- (b) オーバフロタンク汲上げノズル～オーバフロ系汲上げポンプ(2B)
- (c) オーバフロ系汲上げポンプ～炉容器オーバフロ戻りノズル(2B)

である。これ等の配管は、弁も含めてすべて1重構造であり、予熱は、配管外面に沿わせて取り付けられる電気ヒータにより行なわれる。さらに、ナトリウムの漏洩が生じた場合に、

それを検知するナトリウム漏洩検出器が設置されている。

配管 (a) および (b) には必要時、炉容器とオーバフロタンクを隔離することのできるよう止弁が設けられている。さらに、配管 (c) には、オーバフロ系汲上げポンプのトリップ時に生じる炉容器の液面の低下を防止し、1次ナトリウム純化系循環ポンプによるバックアップ運転への切換え操作を簡単にする機能を持つ逆止弁とオーバフロ系汲上げポンプおよび逆止弁のメンテナンス時、炉容器を隔離しておくための止弁が設備されている。

#### (4) 1次ナトリウム純化系統設備

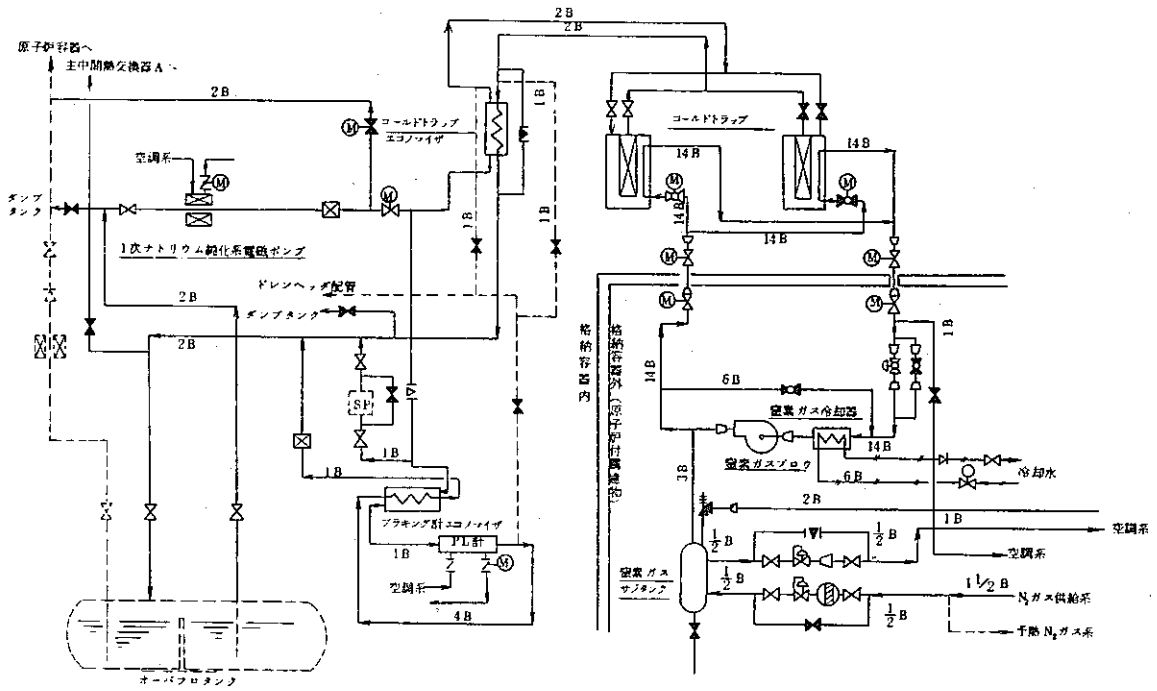
1次ナトリウム純化系統設備は、1次冷却系統内に保有されるナトリウムの純度管理を行なう設備である。

1次冷却材であるナトリウムに含まれる酸素には、ナトリウムの地金に含まれて系統内に入る酸素の他に、建設時から機器、配管壁に付着して残留しナトリウム充填後、ナトリウム中に溶け出すもの、燃料要素等の壁に付着して、燃料交換時に混入するもの、カバーガスに含まれて系統内に混入するものなどがある。これらのナトリウム中の酸素は、原子炉本体および1次冷却系の機器、配管に酸化ナトリウムとして付着し冷却材流路の閉塞を起すとともに機器配管の主要材料であるステンレス鋼のナトリウムによる腐蝕を促進する恐れがあり、この流路の閉塞および腐蝕の促進を抑えるためナトリウム中の酸素濃度を原子炉運転中15 ppm以下に保持する。従ってナトリウム中の酸素濃度を測定するためのプラッキング計の指示値(温度)を約150°Cに保持するために、コールドトラップを設置し、1次冷却材ナトリウム中不純物を除去する。

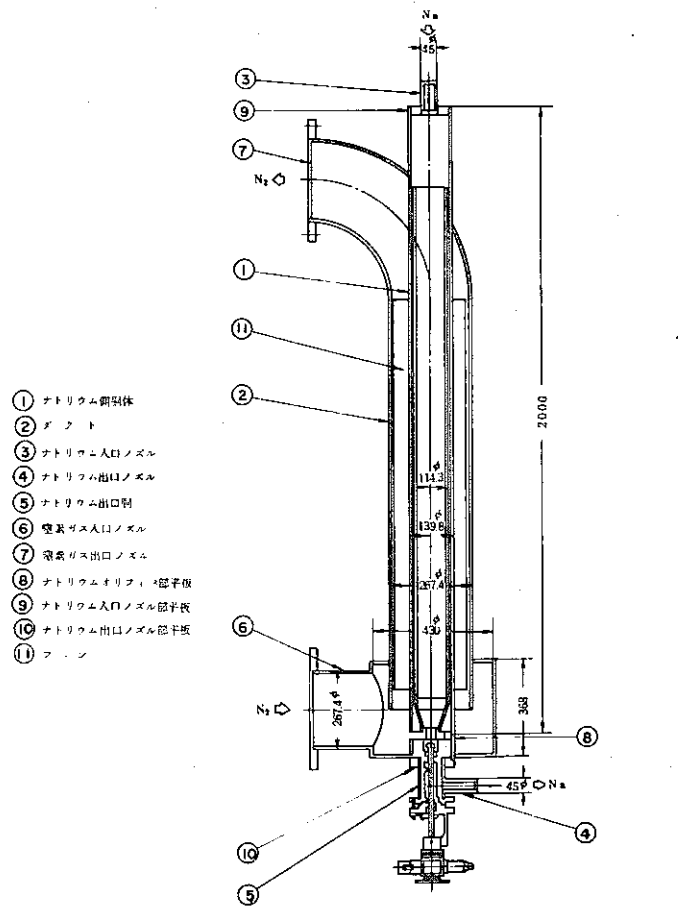
プラント寿命中に、1次冷却材であるナトリウム中より除去する必要がある推定酸素量は、40Kgである。一方1次ナトリウム純化系コールドトラップ1基で捕獲できる酸素の推定値は、46Kgであり、1次ナトリウム純化系には予備基1基を含めて2基のコールドトラップが設置されている。1次ナトリウム純化系統設備の系統図、プラッキング計、コールドトラップ、ナトリウムサンプリング装置構造図を各々第3-13, 14, 15, 16図に示した。

##### (i) ナトリウム初期純化

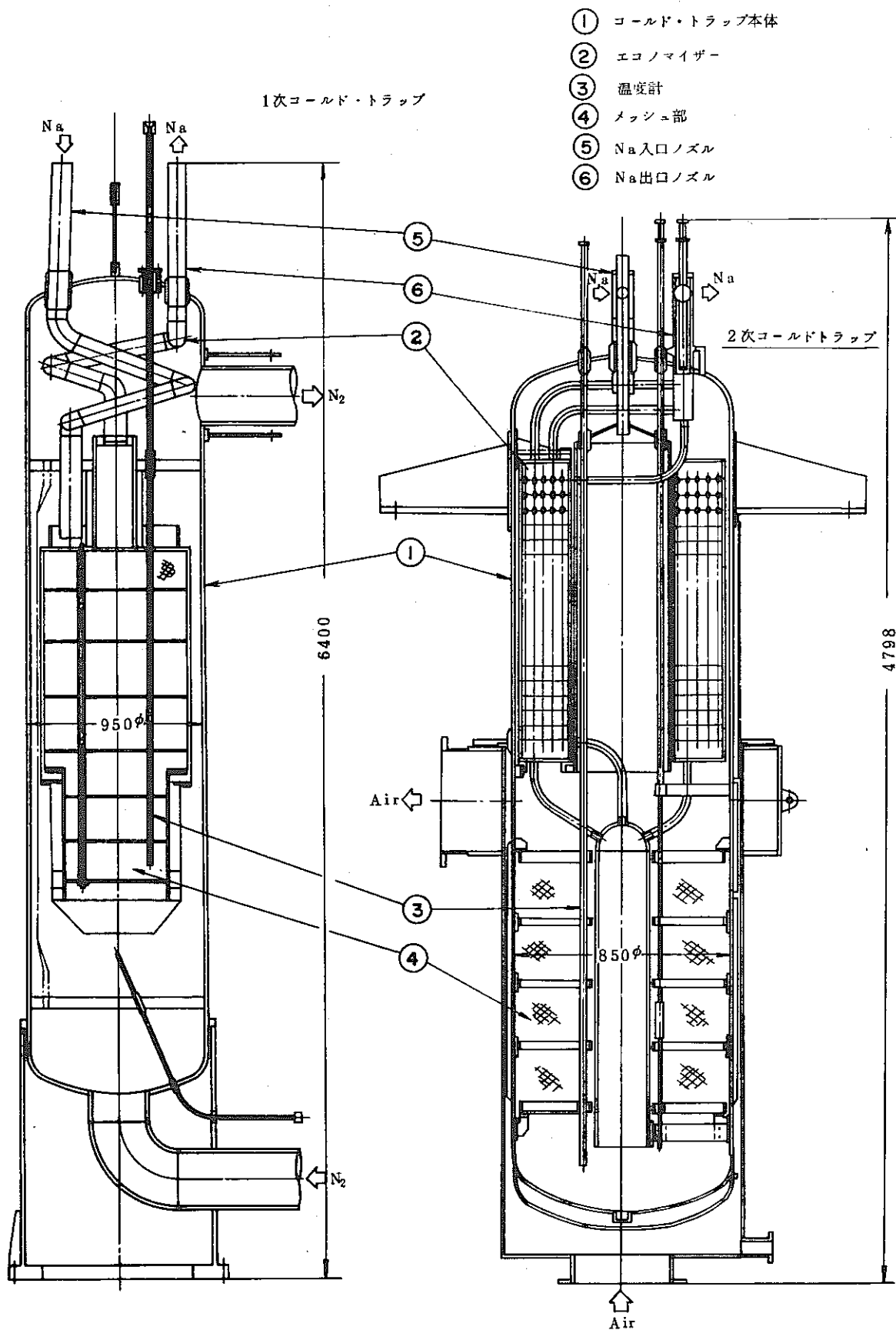
ナトリウム供給系よりダンプタンクにナトリウムが充填された後、ダンプタンクを加圧しダンプタンクよりオーバフロタンクに1部ナトリウムを移送する。オーバフロタンクを1次アルゴンガス系により約0.4Kg/cm<sup>2</sup>gに加圧し、オーバフロタンク据付 GL-22300mmと同一面に設置されている1次ナトリウム純化系電磁ポンプにタンク内ナトリウムを充填する。1次ナトリウム純化系に充填されたナトリウムは、精製系(コールドトラップ)と純度測定系(プラッキング計)に分流されるコールドトラップ温度をプラッキング温度(ナトリウム中の酸素濃度を示す温度)より-3°C程度にし純化作業を行ない、プラッキング温度が150°C程度になるまで連続的に精製を行なう。オーバフロタンク内のナトリウム純化後、弁切替えを行ないダンプタンク内のナトリウムの純化を行なう。



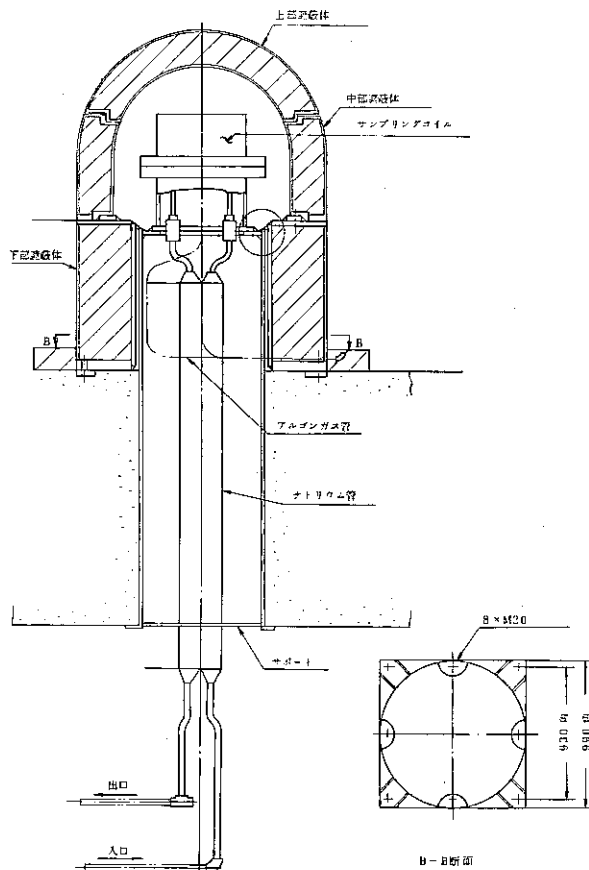
第3-13図 1次ナトリウム純化系系統図



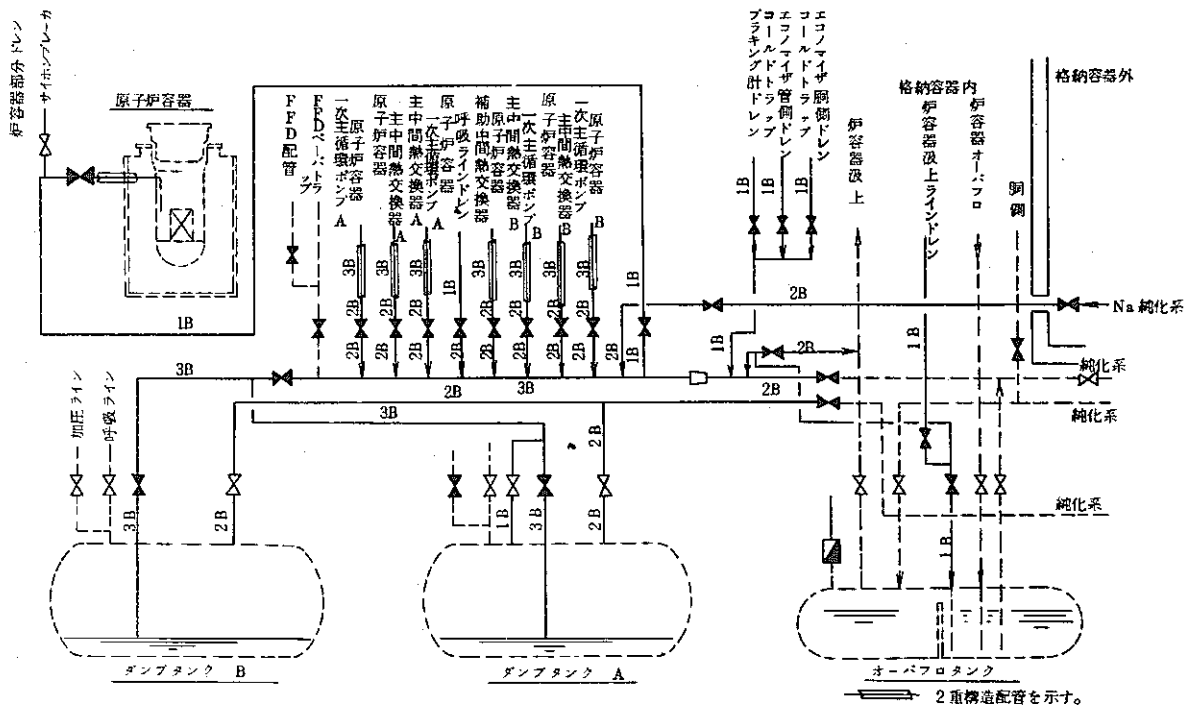
第3-14図 1次ナトリウム純化系プラグ構造図



第3-15図 1次、2次ナトリウム純化系コールド・トラップ構造図



第3-16図 1次ナトリウムサンプリング装置概略図



第3-17図 1次ナトリウム充填ドレン系系統図

## (ii) 原子炉通常運転時

1次冷却系内ナトリウムの酸素濃度を15 ppm以下に保持するために、プラッキング計にて1回/日程度純度測定を行なう、コールドトラップは約150°Cに制御する。

## (iii) タンク内ナトリウムの純化

1次冷却系からナトリウムをドレンした場合には、タンクと純化系で閉回路を形成し、単独にタンク内のナトリウムを純化することができる。

オーバフロタンクは、1次ナトリウムの純化を効率よく行なうため、内部にバッフルを設けてタンク内部を未純化チェンバと純化チェンバに分離し、未純化チェンバには、炉容器からオーバフロした未純化のナトリウムが流入し、純化系に汲上げられる。純化チェンバは、純化系から純化後のナトリウムが流入し、炉容器へ汲上げられる。2つのチェンバ内のナトリウムはバッフル下部に設けられた小さな連通孔により、互いに連通している。

## (iv) ナトリウム汲上げ

オーバフロ系汲上げ電磁ポンプの故障時には、本系統の電磁ポンプでオーバフロタンク内のナトリウムを原子炉容器に汲上げるバックアップ運転を行なうことができる。

## (v) ナトリウムサンプリング

当純化系統設備にはコールドトラップバイパスラインに酸素濃度(酸化物による酸素濃度)を測定するプラッキング計が設けられているが、これらの計器校正、チェックと、さらに核分裂生成物、腐蝕生成物、酸化物等の不純物含有量を化学分析するためのサンプリング設備がプラッキング計のラインに設備されており、必要に応じてバイパス法によりステンレスコイルに採取することが出来る。

サンプリング時期については、60日に1回程度とし、系統内のNa純度を管理する。

## (5) 1次ナトリウム充填ドレン系統設備

1次ナトリウム充填ドレン系統設備は、冷却材である液体金属ナトリウムを受入れ、これを1次冷却系統に充填し、或いは、必要に応じドレンしたナトリウムを貯蔵するための設備である。1次ナトリウム充填ドレン系統設備の系統図を第3-17図に示す。

## (i) ナトリウム受入前アルゴン置換

1次アルゴンガス系に設置されている15 m<sup>3</sup>/minの真空ポンプにて、1次冷却系統施設を1~10 mm Hg程度に真空引きし、その後アルゴンパージを行なう。この操作を約3回行ないアルゴン置換を完了させる。

## (ii) ナトリウム受入前予熱

機器、配管に設置されている予熱設備により、予熱（ $200 \pm 30^\circ\text{C}$ の制御）を行ない、約  $170^\circ\text{C}$ のナトリウムを受入れる準備を行なう。

## (iii) ナトリウムの受入れ、貯蔵

格納容器外に設置されているナトリウム供給系より、最大  $95\text{m}^3$  のナトリウム貯蔵能力のあるダンプタンク 2 基に、ナトリウム  $126\text{ ton}$ （ $150^\circ\text{C}$ 比重  $0.9152$   $133.7\text{m}^3$ ）を受入れ貯蔵する。

## (iv) ナトリウム充填

1 次冷却系統施設を  $150^\circ\text{C}$ 以上に予熱し、機器、配管内圧を  $0.01\text{Kg/cm}^2\text{g}$  程度に調整した後再びオーバフロタンクを約  $0.4\text{Kg/cm}^2\text{g}$ に加圧し、オーバフロ系電磁ポンプにナトリウムを充填する。充填後、電磁ポンプを起動し、補助系炉容器入口配管により系統にナトリウムを充填する。充填完了後、各ドレン弁閉を確認しドレン弁より炉容器側の配管を凝固させる。

## (v) ナトリウムドレン

充填ドレン系配管およびフリーズ部ならびにダンプタンクの予熱ヒータを使用して、ナトリウムを溶融し、ドレン弁を開くことにより行なう。1 次補助冷却系は自由液面（ガス供給プレナム）を持たないため、更にサイフォンブレイク配管の止弁を開き、オーバフロタンク内カバーガスを供給しながらドレンを行なう。炉容器内ナトリウムの部分ドレンは炉容器内  $\text{GL}-9540\text{mm}$ に開口する専用のドレン配管を用いて行なう。

## (6) 1 次アルゴンガス系の概要

冷却材である高温液体金属ナトリウムは、空気中の酸素に触れると激しく反応し、火災を索起し、一方、生成された酸化物は燃料要素や配管の流路閉塞を起し重大事故となる可能性もある。これを防止するためには、ナトリウム液面を大気圧より高い圧力の不活性ガスで覆い空気の混入を防がなければならない。

使用できる不活性ガスとしては、アルゴンガス、窒素ガス、ヘリウムガス等が考えられるが、窒素ガスは、安価ではあるが 1 次系の使用温度領域で材料の窒化を起し、ヘリウムガスは熱伝達率が高い、放射化されにくい等利点は多いが非常に系外へ漏れやすく、他のガスと比較して価格も高く、「常陽」ではアルゴンガスを使用している。アルゴンガスは、放射化されると  $\text{Ar}^{41}$  となり高エネルギーの  $\gamma$  線を出すので被曝管理では十分に留意する必要がある。

1 次アルゴンガス系は、原子炉容器、主中間熱交換器、主循環ポンプ、ポンプオーバフロラム、オーバフロタンク、ダンプタンク等のナトリウム自由液面を覆うアルゴンカバーガスの圧力を一定（通常運転時  $100\text{mm Ag}$ ）に保持し、ナトリウムの酸化防止をすることが第 1 の目



的である。また、ナトリウム充填前の炉容器，1次冷却系機器，配管内のアルゴンガス置換，ナトリウムの加圧，真空移送，主循環ポンプ軸シールガスの供給，サイフォンブレーカ作動時のアルゴンガス供給，ナトリウムサンプリング装置内のガスパージにも用いられる。

1次アルゴンガス系は，次の各部分より構成される。（供給側より）1次アルゴンガス系の系統図を第3-18図に示す。

供給タンク

呼吸ガス圧力調整ヘッダ

加圧ヘッダ

ポンプ軸シールガスアキュムレータ

ペーパトラップ（炉容器= IHX, 主循環ポンプ, オーバフロタンク）

真空ポンプ

配管及び弁類

サンプリング設備

#### (i) 初期ナトリウム充填

初期に系統内にナトリウムを充填するに先だって，1次冷却系でナトリウム及びアルゴンガスに接する部分を空気雰囲気からアルゴンガス雰囲気に置換する。置換方法としては， $15\text{ m}^3/\text{hr}$ の排気速度を持つ真空ポンプを使用し，1次系のナトリウム，アルゴンガス各機器内を $10\text{ mm Hg}$ 程度に真空引きを行なう。その後アルゴンガスを供給し約 $100\text{ mm Ag}$ まで充填する。この操作を充填後のアルゴンガス純度が，ナトリウム純度および炉運転に支障がなくなるまでくり返す。

各機器，配管内の雰囲気がアルゴンガスに置換された後，加圧ヘッダを介して，ダンプタンクを加圧しオーバフロ系電磁ポンプまでナトリウムを移送する。以後はこの電磁ポンプにより純化系へ充填され，コールドトラップの連続運転を行なう。この純化運転はダンプタンクA，B，オーバフロタンクに対して行なわれる。

純化運転が終了したのち，ダンプタンクの加圧とオーバフロ系電磁ポンプによって補助系へ移送される。ナトリウムは，補助系電磁ポンプにより炉容器内の補助系入口ノズルより主冷却系各部へ充填される。この時被充填機器に対しては，ナトリウム内部へのガス巻き込みを防止するために真空ポンプを作動させ，真空引きを併用する。また，置換時，充填時のアルゴンガスは，非放射性なので付属建物の排気ダクトへ直接排気される。

#### (ii) 通常運転

アルゴンガス供給系より供給されたアルゴンガスは供給タンクに貯蔵される。供給タンクは $30\text{ Nm}^3$ の容量を持ち，原子炉スクラム時のアルゴンガス体積変化に充分対処できるようになっている。

1次冷却系機器内のカバーガス圧力に低下が生じたり，加圧する必要がある時供給タンクより放出されたアルゴンガスは格納容器内のバルブ操作室内で大別して主循環ポンプの軸シ

ールガス供給ラインダンプタンク・オーバフロタンクの加圧ライン・カバーガス圧力制御ラインの3つに分れる。

ポンプ軸シールガスラインはアキュムレータを持ち、供給タンクと同じく原子炉スクラム時にも約10分間にわたって軸シールガスを供給することが可能である。アルゴンガスは主循環ポンプの軸封部に通常  $0.3 \text{ l/min}$  (Max  $0.8 \text{ l/min}$ ) の流量で供給されている。この軸シールガスは、FFDカバーガス法サンプリングガス、ページガスとともに温度変化以外の系内圧力上昇の主原因となる。

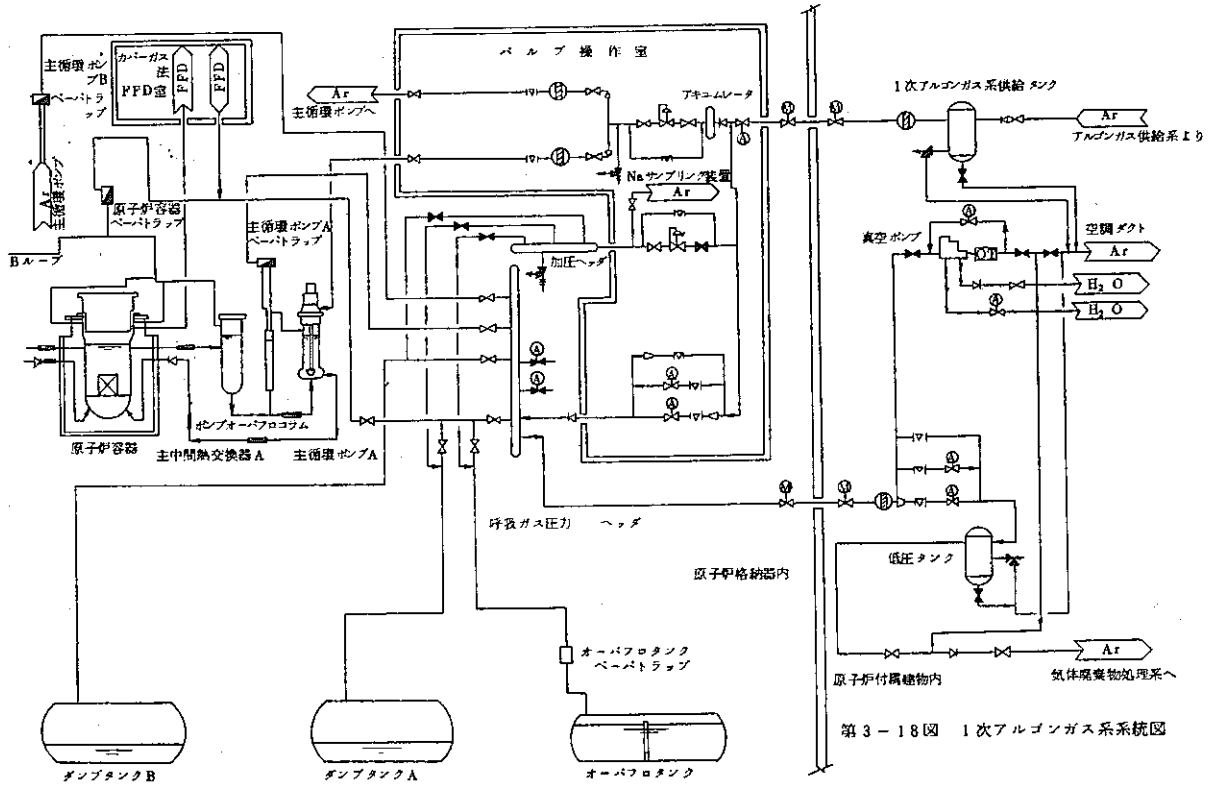
加圧ラインは、ナトリウムの加圧移送の際のタンクの加圧に用いられ、アルゴンガスはバルブ操作室外にある加圧ヘッドに入った後、3つのタンクへ別々に供給される。カバーガス圧力制御ラインへ入ったアルゴンガスは、圧力制御弁を通過して、呼吸ガス圧力調整ヘッドに供給され、呼吸ガス配管およびベーパートラップを介して、炉容器や1次冷却系機器内のカバーガス空間へ送り込まれる。炉容器と主中間熱交換器、主循環ポンプと同オーバフロコラムの間は、それぞれ平衡配管で接続され1つのカバーガス空間を作っている。呼吸ガス圧力調整ヘッドから各カバーガス空間へのガスの供給は、原子炉停止時など1次冷却系機器内のナトリウムおよびカバーガス温度が下り、ガス圧力が低下した場合には行なわれる。原子炉の起動時などナトリウムおよびカバーガス温度の上昇に伴ってガス圧力が上昇した場合には、余ったアルゴンガスは、供給時とは逆の向きにベーパートラップで、カバーガス中のナトリウム蒸気、ミストを除去され呼吸ガス配管を通過して呼吸ガス圧力調整ヘッドに集められ、供給ラインとは別に設けられた排気ラインより、原子炉付属建物内に設置された低圧タンクへ排気される。低圧タンクに入ったアルゴンガスは気体廃棄物処理系の圧縮機により引かれて、気体廃棄物処理系へ流れる。

原子炉容器および1次冷却系機器から排気されるアルゴンガスは、原子炉の運転の後には放射化されているため、気体廃棄物処理系の貯蔵タンクに定期間貯蔵して減衰させた後、プラント外へ排出する。ここで2%燃料破損時等の場合には、弁の切換えによって2台のダンプタンクを径由して廃ガス系へ送ることもできる。

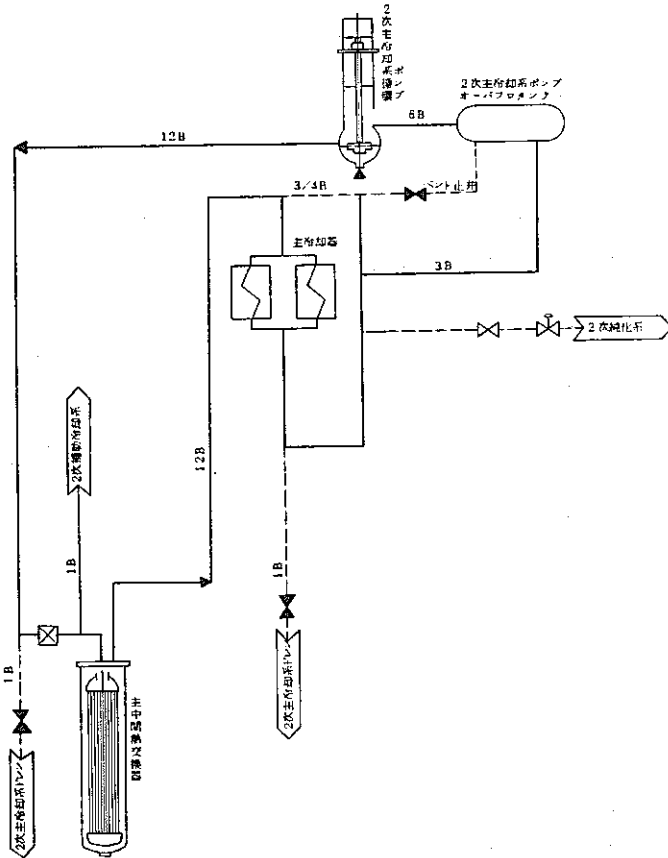
カバーガス圧力制御は  $100 \pm 30 \text{ mmAq}$  で行ない低圧タンクの圧力は常時  $0 \text{ Kg/cm}^2 \text{ G}$  以下となっている。圧力調整系の故障などによりカバーガス圧力が  $600 \text{ mmAq}$  以上となった場合にはアルゴンガスの供給を全ラインにわたって停止することができ、また呼吸ガス圧力調整ヘッドに  $0.1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ g}$  で作動する空気式の安全弁が設置されていて炉容器カバーガス圧力は過渡時、事故時に  $\pm 0.1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ g}$  の範囲で制御、構成されている。

### (iii) 原子炉容器内ナトリウムの補助冷却系への真空吸引

メンテナンス時には、1次系各ループのナトリウムはドレンされており、炉心崩壊熱の除去はコンクリート遮蔽体冷却系により  $\text{N}_2$  ガスを炉容器リークジャケットに流して行なう。この系統の機能が喪失した場合には、炉心冷却は補助系により行なわれる。補助系へのナトリウム充填は、本系統の真空ポンプより補助冷却系のサイフォングレーカラインを介して、補助系内を真空引きし炉容器のナトリウムを吸引する真空充填によって行なわれる。



第3-18図 1次アルゴンガス系系統図



第3-19図 2次主冷却系系統図

(iv) サイフォンブレイク用アルゴンガスの供給

1次主冷却系，補助冷却系には，サイフォンブレイクラインが設置され，配管の低部で2重管の内外管とも破損し，サイフォン作用によって炉容器内のナトリウムが流出するのを防いでいるが，このサイフォンブレイクラインが作動する時に，アルゴンガスを供給する。

(v) ナトリウムサンプリング装置内ガスパージ

ナトリウムサンプリング装置は，内蔵されているサンプリングポットにより1次系のナトリウムを採取する。コイルを取出す時にナトリウムと空気が触れて酸化を起し，分析が不可能となるのを防ぐために，グローブボックス内とサンプリング装置内をアルゴンガスによりパージし内部を不活性雰囲気とする。

(vi) メンテナンス時の希釈

1次系のカバーガスは高放射能濃度なので，炉内メンテナンスとして制御棒駆動装置を取り出すときなどは，カバーガスをフレッシュなアルゴンガスと置換する必要がある。このときは真空ポンプによって真空置換し，廃ガス処理系の能力の許す程度まで希釈することができる。

(vii) アルゴンガス純度管理

アルゴンカバーガスは前述のとおり系内を  $100 \pm 30 \text{ mm A}_q$  の微加圧状態に保ち空気あるいは窒素ガスの混入を防ぐよう設計されているが，酸素，窒素その他による汚染の有無を定期的に検査をすることにより，アルゴンガス純度の確認を行なうことが出来るように，1次アルゴンガスサンプリング設備が設けられている。

当設備は炉上部のカバーガスをFFDのコンプレッサーにより吸引し，ステンレス製容器にガスを採取分析試験する方式である。また，不純物測定のほかFP等の放射性物質の濃度についても測定する。

なお1次アルゴンガスは放射能濃度が高いので，サンプリング容器に採取して直ちにとり出すことなく，短寿命の放射性物質を減衰させてのち取出して分析を行なうこととする。したがって放射能測定の場合，長寿命の核種及び娘核種について測定することになる。したがって短寿命の核種についても測定する場合はオンラインシステムによる放射能測定器を設けることが望まれる。測定頻度については，放射能減衰時間等の関係から2ヶ月に1，2回程度である。

(7) 2次主冷却系統設備

2次主冷却系統は主に次の各部より構成されている。

2次主冷却系循環ポンプ

## 主空気冷却設備

## 電磁流量計

## ポンプオーバーフロータンク

## 配管設備

本システムは、主中間熱交換器を介して1次主冷却系からナトリウム冷却材に伝達された熱を主冷却器により、空気冷却を行ない大気に放散するもので、1次主冷却系と同様に2系統で構成されている。

本システムのナトリウム冷却材は、非放射性であるので機器は原子炉付属建物に隣接する主冷却機建物に収納され、地下の配管路を通して格納容器内の主中間熱交換器と接続されている。

主冷却器を冷却する空気は、建物側面より流入して主送風機にて主冷却器までダクトで送気する。ナトリウムを冷却した空気は建物上部のダクトを通り、大気中へ放出される。

循環ポンプから吐出されたナトリウムは、電磁流量計を経て主中間熱交換器の管側に入る。胴側を流れる放射性の1次主冷却系のナトリウムと熱交換を行ない、主中間熱交換器の管側を出たナトリウムは、次に2つに分岐して2台の主冷却器に入りフィン付伝熱管を通り、その間に空気冷却される。主空気冷却器から出たナトリウムは、低温側配管として合流して循環ポンプ入口へ接続している。

尚、循環ポンプとポンプオーバーフロータンクには、ナトリウムの自由液面があり、アルゴンガスを覆われている。2次主冷却系の系統図を第3-19図に示す。

ナトリウムの流量は、ポンプ軸の回転数を変えることにより調節する。ポンプ軸の回転数制御は駆動用電動機の2次抵抗を変えることにより行なう。通常運転時は原子炉出力によらず2次主冷却系流量が定格値(1085.6 ton/hr)となる抵抗器タップを選択する。

ナトリウムの温度制御は、主冷却器出口ナトリウム温度を原子炉入口ナトリウム温度が370°Cになる様にあらかじめ設定した温度に保持するように空気流量を調節する。運転温度は、50MWt運転時では、主冷却器入口温度420°C、出口温度355°C、又100MWt運転時では、主冷却器入口温度470°C、出口温度340°Cとなっている。

通常運転時には、主冷却器出口ナトリウム温度を検出して、送風機入口ベーンの開度を自動的に調節して、空気流量を変え、出口ナトリウム温度を制御する。入口ベーンの通常制御範囲を越える低負荷運転時には、主冷却器入口ダンパの開度を自動的に調節して、空気流量を変え出口ナトリウム温度を制御する。

## (1) 2次主冷却系循環ポンプ

2次主冷却系循環ポンプは1系統に1台、すなわち合計2台設置され主冷却機建物4階に据付けられている。

2次主冷却系循環ポンプは、ポンプ本体、電動機、潤滑油循環装置、台板より構成されている。

ポンプ本体は、内部構造体と内部構造体を納めた外部ケーシングより成り、内部構造体は保守点検が容易なように外部ケーシングをそのままにして抜き出せる構造としている。下端に

吸込みノズルがあり、主冷却器を通過したナトリウムはここからポンプに入り、羽根車、案内羽根を通り高圧となり、高圧室より外部ケーシング側面の吐出ノズルから流出する。羽根車の上部にはナトリウム潤滑軸受があり高圧ナトリウム液の一部により潤滑される。

液中軸受を通ったナトリウム液の一部は羽根車吸込側に戻り、他は外部ケーシング円筒胴に設けられたリークフローノズルより、2次主冷却系ポンプオーバフロタンクへと導かれる。

2次主冷却系循環ポンプ駆動用電動機は立軸防滴保護形の巻線形三相誘導電動機である。

ポンプ上部のメカニカルシールおよび玉軸受を潤滑冷却するため潤滑油循環装置により連続的に潤滑油を循環させる。概略構造を第3-10図に示す。

## (ii) 主冷却系空気冷却設備

主冷却系空気冷却設備は、非放射性の2次主冷却系ナトリウムを冷却するための設備で、冷却媒体である空気を主冷却器に送りこむ主送風機、空気を風胴室から吸気し主冷却器に導き建物外に放出する流路を形成するダクト、ダクトの熱膨張吸収するための伸縮継手および空気を調節するダンパより構成されている。

主冷却器本体はヘッドにフィンチューブを取り付け、外周を空気流路を形成するようにケーシングで囲んだフィンチューブ多管式のナトリウム空気冷却器である。

ドレン時にナトリウムが残留しない様にフィンチューブは約1/100の勾配を設け、ヘッドにもドレン管を設けた。

主冷却器は2次主冷却系1系統に2台、すなわち合計4台設置され、主冷却機建物2階に据付けられている。概略構造を第3-20図に示す。

主送風機は入口ベーン付両吸込横置ターボファンで主冷却機建物1階主冷却器室に設置され、同室内および風胴室より空気を吸気し、主冷却器に送りこむようになっている。形式は電動機直結形で風量は入口ベーンを操作することによって調節することができる。

主冷却器入口ダンパは、バタフライ形式の翼を持ち、主冷却器入口に設置され、空気圧作動の駆動装置によってダンパ翼を操作し、主冷却器に送気する風量を制御することができる。

主冷却器出口ダンパは、バタフライ式の翼を持ち、主冷却器出口に設置され、付属の電動機によってダンパ翼を駆動する。

本ダンパは風量調節系の駆動用空気源が喪失した場合には非常用電源によって操作でき自然通風量を制御できる。

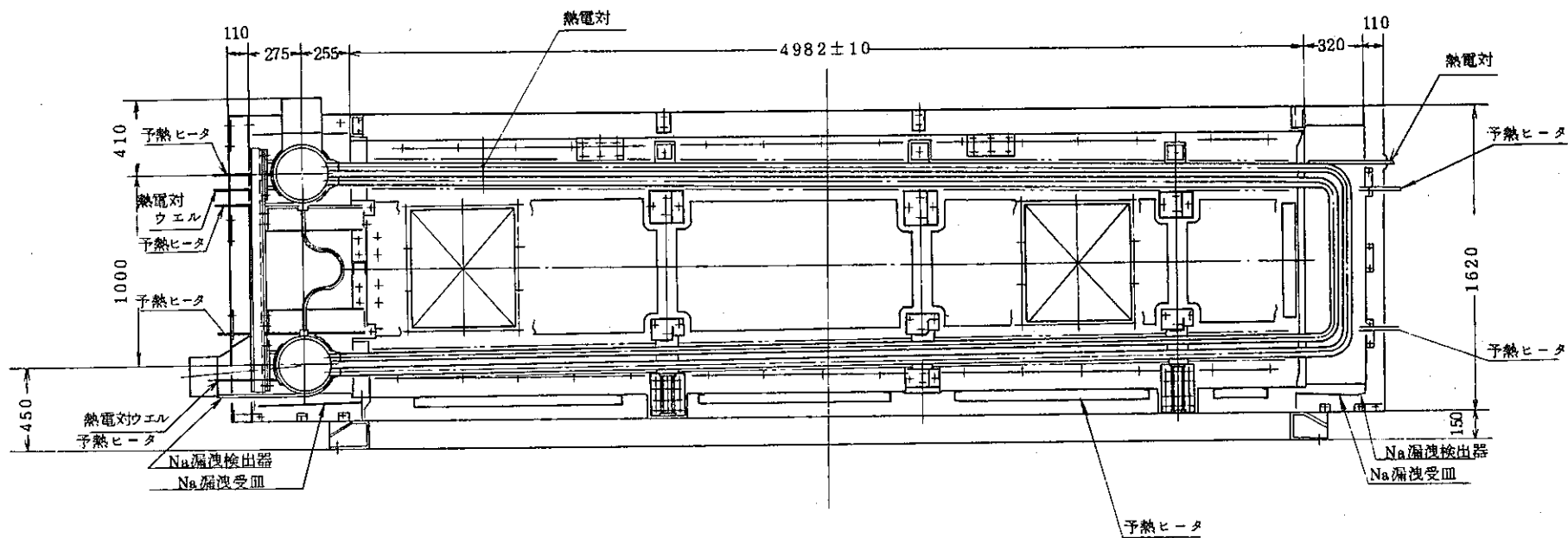
主冷却系空気冷却設備用ダクトは、主送風機より吐出される空気を主冷却器に導き屋外に排出するダクトである。

主冷却系空気冷却設備用伸縮継手は風道の熱膨張による伸びを吸収するためのもので主冷却系空気冷却設備の出口ダンパ下流(屋内1ヶ、屋外2ヶ)に設置されている。

## (iii) 2次主冷却系配管

2次主冷却系を構成する配管は、

2次主冷却系循環ポンプ～主中間熱交換器



第 3 - 20 図 主冷却器構造図

主中間熱交換器～主冷却器

主冷却器～2次主冷却系循環ポンプ

の主配管と

2次主冷却系循環ポンプ～2次主冷却ポンプオーバフロタンク

2次主冷却系ポンプオーバフロタンク～2次主冷却系配管

2次主冷却系配管～2次補助系充填ライン止弁

の付属配管である。

本系統は非放射性であり全て一重管である。主中間熱交換器と格納容器を結ぶ経路を除き、格納容器外に設置されている。

なお本系統2次主冷却系ホットレグ配管には、材料のナトリウム効果に関するサーベイランス計画の一環として試験片が挿入されている。

#### (IV) 2次主冷却系電磁流量計

2次主冷却系電磁流量計は系統の冷却材流量を計測する目的で2次主冷却系循環ポンプ吐出側の水平配管部に取付けられている。

型式は直流励磁空心コイル式で、2次主冷却系配管と共用するダクト部、励磁電源部、および流量信号部を取出す電極部から構成されている。

#### (V) 2次主冷却系ポンプオーバフロタンク

2次主冷却系ポンプオーバフロタンクは、2次主冷却系の液面の変動を制御するためと、初期ナトリウム充填などのガスベントおよび2次主冷却系循環ポンプのナトリウム潤滑軸受部漏出ナトリウムの流入用として設置されている。

形式は横置円筒サドル支持形で、主冷却機建物4階に据付けられている。

2次主冷却系ポンプオーバフロタンクには材料のナトリウム効果に関するサーベイランス計画の一環として試験片が取付けられている。

#### (8) 2次補助冷却系統設備

2次補助冷却系は主に次の各部より構成されている。

電磁ポンプ

補助空気冷却設備

膨張タンク

補助ブラッキング計ユニット

電磁流量計

配管及び弁類

2次補助冷却系は、1次補助冷却系と合わせ、主冷却系で崩壊熱除去ができなくなった場合、原子炉ナトリウム液面低下時、および炉内検査時の崩壊熱除去を行なう場合使用され安全に原



子炉余熱を除去できる能力を有している。設計除熱量は 2.6MWt であり、定格流量は 56.5 ton/hr である。

2次冷却材は放射化されないため、本系統設備は補助中間熱交換器と格納容器を結ぶ配管を除き原子炉付属建物に設置されている。また本系統設備全体は1重構造で1次補助冷却系と同様に1系統式である。

系統流路としては、電磁ポンプから出たナトリウムは電磁流量計を通り補助中間熱交換器の管側に入り、胴側を流れる1次補助系ナトリウムと熱交換を行なう。補助中間熱交換器を出たナトリウムは、温度 470°C になり補助冷却器に入り、フィン付伝熱管内側を通り外側を流れる空気により冷却されて温度 340°C になり、電磁ポンプ入口側に入る。2次補助冷却系の系統図を第3-21図に示す。

プラントの運転に先立って、系統内のナトリウムの純化作業を行なうがその時は主冷却系と補助冷却系との連絡弁を開として、主冷却系ナトリウムを補助冷却系へ流入させ膨張タンクのオーバフロノズルから系統のナトリウムをダンプタンク（ナトリウム充填ドレン系）へドレンさせる。

プラント起動停止及び運転中に於ける系統の温度変化によるナトリウム体積の変動は膨張タンクにて吸収する。

補助冷却系の熱移送運転時のナトリウム温度制御は補助冷却器出口ナトリウム温度を一定に保持するように補助送風機入口ベーンを制御する。入口ベーンの通常制御範囲を越える低負荷運転時には、補助冷却器入口ダンパの開度を操作することにより入口ベーンの制御範囲を増し、出口ナトリウム温度を一定に保つようになっている。

通常の原子炉出力運転時には、主冷却系で必要な熱移送が行なわれているので、補助冷却系では設計熱移送量に見合う熱移送は行なわない。この場合、ナトリウムの循環量は原則として、定格の 56.5 ton/hr である。補助送風機は運転する必要はないが、1次補助冷却系から伝えられる少量の熱により2次補助冷却系内のナトリウム温度が系を構成する構造材料の設計温度以上にならないように補助冷却器の出口ナトリウム温度を監視しながら、空気自然通風量を調節する。

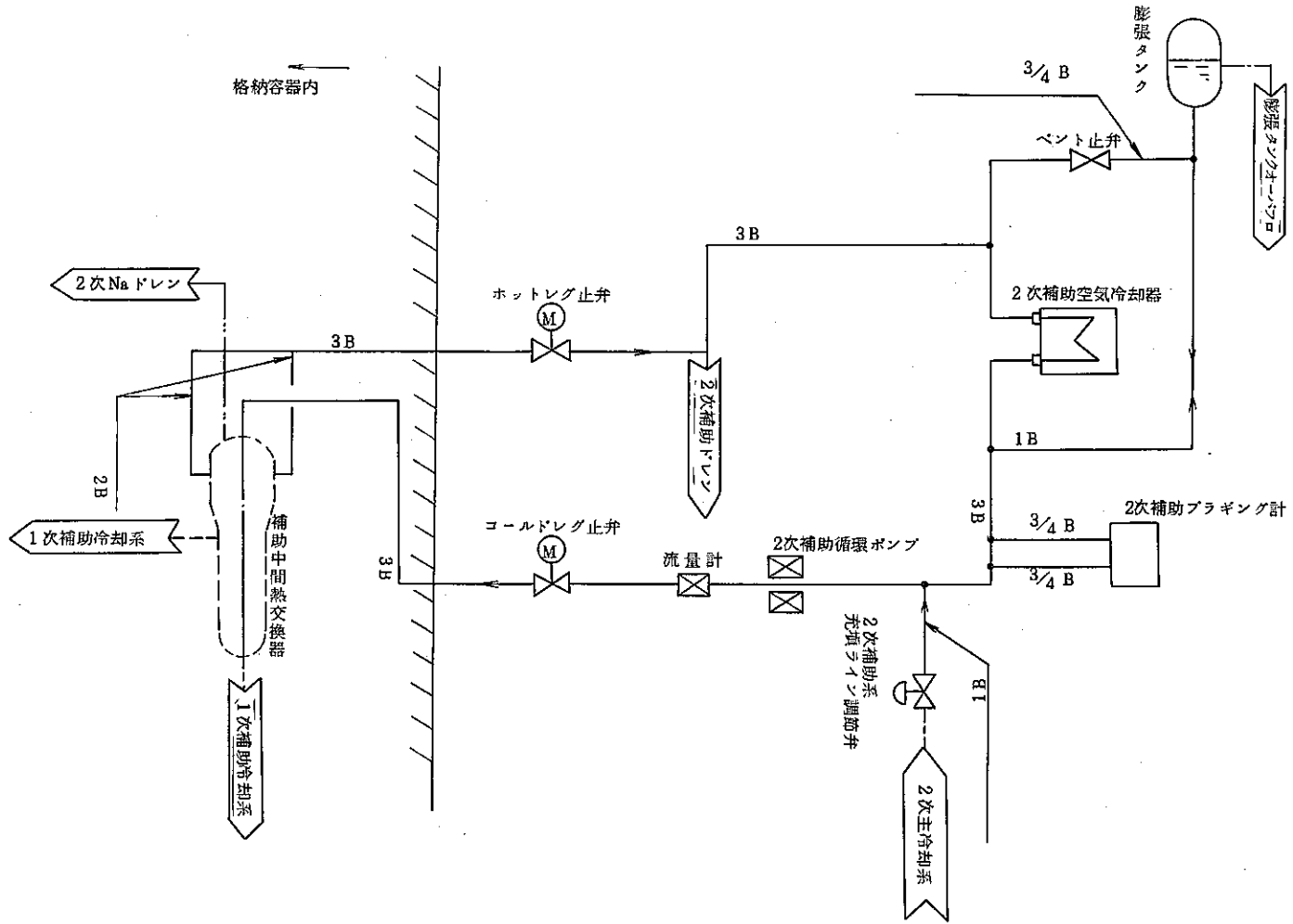
2次補助冷却系内のナトリウム純度は、補助冷却器出口配管から分岐させて2次補助プライン計が設けられており、常時監視を行なう。

#### (i) 2次補助循環ポンプ

2次補助循環ポンプ（LIP）は平板直線形誘導電磁ポンプと呼ばれる型の電磁ポンプである。その主な構成は次の各部分である。

ダクト  
リニアモータ  
熱絶縁  
フレーム  
冷却用ファン

LIPは駆動流体である熔融金属ナトリウムの容器となるダクトの平行部を適当な空隙を



第 3 - 21 図 2 次補助冷却系系統図

もってはさむ両面式リニアモータにより、電氣的にナトリウムに駆動力を与える。絶縁体はナトリウムの熱がダクトを介して逃げるのを防止するのと、リニアモータのコイル絶縁保護のために設けられている。冷却用ファンはリニアモータの熱損失を除去し、コイルを保護する。

フレームは鋼板の溶接構造で、ダクト・リニアモータ・冷却ファンを支持する。

## (ii) 2次補助冷却系空気冷却設備

2次補助冷却系空気冷却設備は、非放射性的の2次補助冷却系ナトリウムを冷却するための設備で、冷却媒体である空気を冷却器に送り込む補助送風機、空気を建物外から吸気し、補助冷却器に導き建物外に放出する流路を形成する風道、風道の熱膨張を吸収するための伸縮継手更に空気量を調節するためのダンパより構成されている。

補助空気冷却器は、ヘッダに $\Sigma$ 形に15本のフィンチューブを取付け外周を空気流路を形成するようにケーシングで囲んだ構造になっている。

本冷却器は原子炉付属建物補助冷却系機器室の1階に設置され、架台の上に据付けられた送風機より本冷却器に冷却用空気を送るようになっている。

補助送風機はインレットベーン付片吸込横置ターボファンで、原子炉付属建物補助冷却系機器室1階に設置され、空気を吸気ダクトにより建物外から吸気し、補助空気冷却器に送り込むようになっている。駆動電動機直結形で風量はインレットベーンを操作する事によって調節する事が出来る。

入口ダンパはバタフライ形式の翼を持ち、冷却器入口に設置され、ダンパは空気圧作動のドライブユニットによって作動し、補助空気冷却器に流入する風量を制御することができる。

出口ダンパはカンチレバータイプで、補助空気冷却器出口に設置され、付属の電動機によってダンパ翼を駆動する。本ダンパは入口ダンパの駆動用空気源が喪失した場合でも非常用電源によって操作出来、風量制御を行なうことができる。

補助空気冷却設備用風道は屋外より吸込むための吸気ダクトと送風機より吐出される空気を補助空気冷却器に導き、屋外に排出する風道より構成されている。

伸縮継手は風道の熱膨張による伸びを吸収するためのもので、補助空気冷却設備の冷却器出口ダンパの上に設置されている。

補助空気冷却器架台は補助空気冷却器を設置するためのもので、原子炉付属建物補助冷却系機器室1階に設置される。

## (iii) 膨張タンク

本タンクは、2次補助冷却系唯一のナトリウム自由液面を有している容器であり、上下端10%さら形鏡板を設けた堅置円筒形で、ラグ支持方式の容器である。

本タンクは、下端鏡板中央部にナトリウム入口ノズル、円筒部のほぼ中位置にナトリウムオーバーフローノズル、更に、上端鏡板にカバーガス(アルゴンガス)供給用ノズルとナトリウム液位計取付用ノズルがそれぞれ設けられている。

## (IV) 2次補助冷却系配管及び弁類

2次補助冷却系配管は、2次補助系の主要な機器、すなわち補助中間熱交換器、2次補助空気冷却器、膨張タンク、2次補助循環ポンプを連結する経路を構成する。大別すれば、補助中間熱交換器より格納容器を貫通し、2次補助空気冷却器に至るホットレグ配管と2次補助空気冷却器より2次補助循環ポンプを通り、格納容器を貫通後、補助中間熱交換器に至るコールドレグ配管になる。

なお、2次補助冷却系配管は格納容器を貫通するため格納容器貫通金物と格納容器隔離弁が設けられている。

## (V) 補助プラグイン計

補助プラグイン計はナトリウム回路一式を収納する機器パネルとプラグイン計を操作する電気回路を収納した操作パネルより構成されている。

## (a) 機器パネル

機器パネルは電磁ポンプ、電磁流量計、ナトリウム冷却装置、プラグインオリフィスなどが構成されたナトリウム回路一式を収納したものである。

## (b) 操作パネル

ナトリウム流量とプラグイン温度を記録する記録計の他プラグイン計の運転に必要な操作回路、制御回路、電源回路、予熱回路の一部を備えていて、機器パネルの諸操作を遠隔で行なう事ができる。

本プラグイン計のナトリウムの流れは入口ノズルより流入し、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、冷却器下方で合流して、出口ノズルより流出する。相方の流量比が設定値より大きい場合は冷却器への風量を増し、オリフィスのナトリウム温度を下げて、不純物の付着を促進する。設定値より小さい場合は風量を絞ってナトリウムの温度を上げて、付着不純物を溶解する。

このようにプラグインオリフィスをナトリウムの不純物の付着と溶解の平衡状態に保持し、この部分のナトリウム温度をプラグイン温度として、流量比と共に2ペン記録計に記録する。

## (VI) 流量計

2次補助冷却系の系統流量を計測する目的で取付ける流量計は永久磁石式の電磁流量計であり、循環ポンプの吐出側水平配管部に設置されている。本流量計は2次補助冷却系配管と共用するダクト部、永久磁石を含む磁気回路及び流量信号を取出す電極部から構成されている。

## (9) 2次ナトリウム純化系統設備

2次ナトリウム純化系統設備は、2次冷却系統内に保有されるナトリウムの純度管理を行ない、自由液面を有するナトリウム機器の液位を常時一定に保持する設備である。

2次冷却材であるナトリウム中に含まれる酸素には、ナトリウムの地金に含まれて系統内に入るもの、建設時から機器、配管壁に付着して残留し、ナトリウム充填後、ナトリウム中に溶けだすもの、カバーガスに含まれて系統内に混入するものなどがある。これらナトリウム中の酸素は、2次冷却系の機器、配管に酸化ナトリウムに付着し冷却材流路の閉塞を起すとともに機器配管の主要材料であるステンレス鋼および低合金鋼のナトリウムによる腐蝕を促進する恐れがあり、この流路の閉塞および腐蝕の促進を抑えるためナトリウム中の酸素濃度を通常運転中25 ppm以下に保持する。従ってナトリウム中の酸素濃度を測定するためのプラグイン計指示値(温度)が約150°Cに保持するために、酸素を2次冷却材から除去するためコールドトラップを設置し、2次冷却材ナトリウム中不純物を除去する。

プラント寿命中に2次冷却材であるナトリウム中より除去する必要がある推定酸素量は、12Kgである。一方2次ナトリウム純化系コールドトラップで捕獲できる酸素の推定値は18Kgである。

自由液面を有する2次主循環ポンプは、冷却材の温度変化による体積変化或いはナトリウム漏洩による冷却材の減少など冷却材の変動によって運転機能に支障を来すことが無いようナトリウム液位を常時一定に保持する必要がある。常時定格汲上げ流量は $6\text{ m}^3/\text{hr}$ であり冷却材の温度変化率 $50^\circ\text{C}/\text{hr}$ から計算される体積変化率 $1.14\text{ m}^3/\text{hr}$ である。2次ナトリウム純化系統設備の系統図を第3-22図に示す。

#### (i) ナトリウム初期純化

ナトリウム供給系よりダンプタンクにナトリウムが供給された後、ダンプタンクを2次アルゴンガス系により約 $0.7\text{ Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ に加圧し、ダンプタンク据付面GL-7400mmから2次ナトリウム純化系電磁ポンプ(GL-6100mm)にナトリウムを充填する。2次ナトリウム純化系に充填されたナトリウムは、精製系(コールドトラップ)と純度測定系(プラグイン計)に分流される。コールドトラップ温度をプラグイン温度(ナトリウム中の酸素濃度を示す温度)より $-3^\circ\text{C}$ 程度にし純化作業を行ないナトリウム酸素濃度で10 ppm以下になるまで連続的に精製を行なう。

#### (ii) 通常運転時

2次冷却系内ナトリウムの酸化物純度目標を25 ppm以下に保持するために、プラグイン計にて1回/日程度純度測定を行なう。コールドトラップは約150°Cに制御する。

#### (iii) タンク内ナトリウムの純化

2次冷却系からナトリウムをドレンした場合には、タンクと純化系で閉回路を形成し、タンク内ナトリウムを純化することができる。

#### (iv) オーバフロ系としての機能

オーバフロタンクよりオーバフロしてダンプタンクへ流れ込んだナトリウムは、2次ナトリウム純化系電磁ポンプにより汲み上げられコールドトラップにより精製された後、2次主

循環ポンプ吸込管側に流入し、系内の精製および液位保持が行なわれる。

(V) サンプルングによるナトリウム分析

ナトリウム純度の監視およびプラグギング計の較正として 2 次冷却系統内よりナトリウムの分析用試料をサンプルングする。

サンプルングは、汲上げ配管とオーバフロ配管をバイパスする 2 次ナトリウム純化系サンプルング装置内で行なわれる。サンプルング装置内には脱着可能な接手に接続されたサンプルチューブが設けてあり、このサンプルチューブ内にナトリウムを流し、チューブ前後に設けられた弁を閉じサンプルチューブ内にナトリウムを閉じこめ、分析用試料とする。

00 2 次ナトリウム充填ドレン系統設備

2 次ナトリウム充填ドレン系統設備は、冷却材である液体金属ナトリウムを受入れ、これを 2 次冷却系統に充填し、或いは、必要に応じドレンしたナトリウムを貯蔵するための設備である。2 次ナトリウム充填ドレン系統設備を第 3 - 23 図に示す。

(i) ナトリウム受入前アルゴン置換

2 次アルゴンガス系に設置されている  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  の真空ポンプにて 2 次冷却系統施設を  $10 \text{ mm Hg}$  程度に真空引きしその後アルゴンパージを行なう。この操作を 3 回程行ないアルゴン置換を完了させる。

(ii) ナトリウム受入前予熱

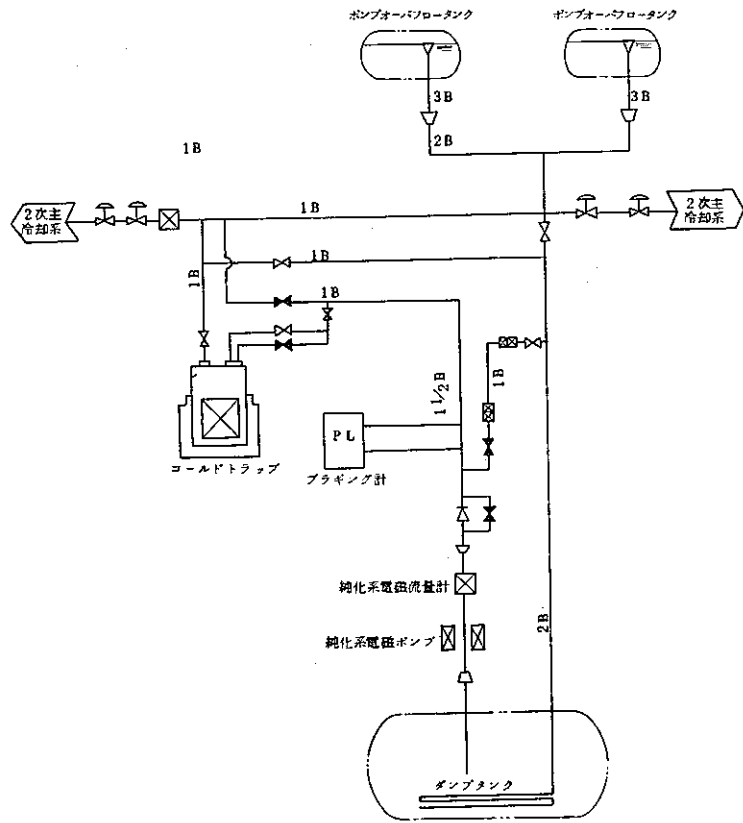
機器、配管に設置されている予熱設備により、予熱 ( $200 \pm 30^\circ\text{C}$  の制御) を行ない、約  $170^\circ\text{C}$  のナトリウムを受入れる準備を行なう。

(iii) ナトリウム受入れ貯蔵

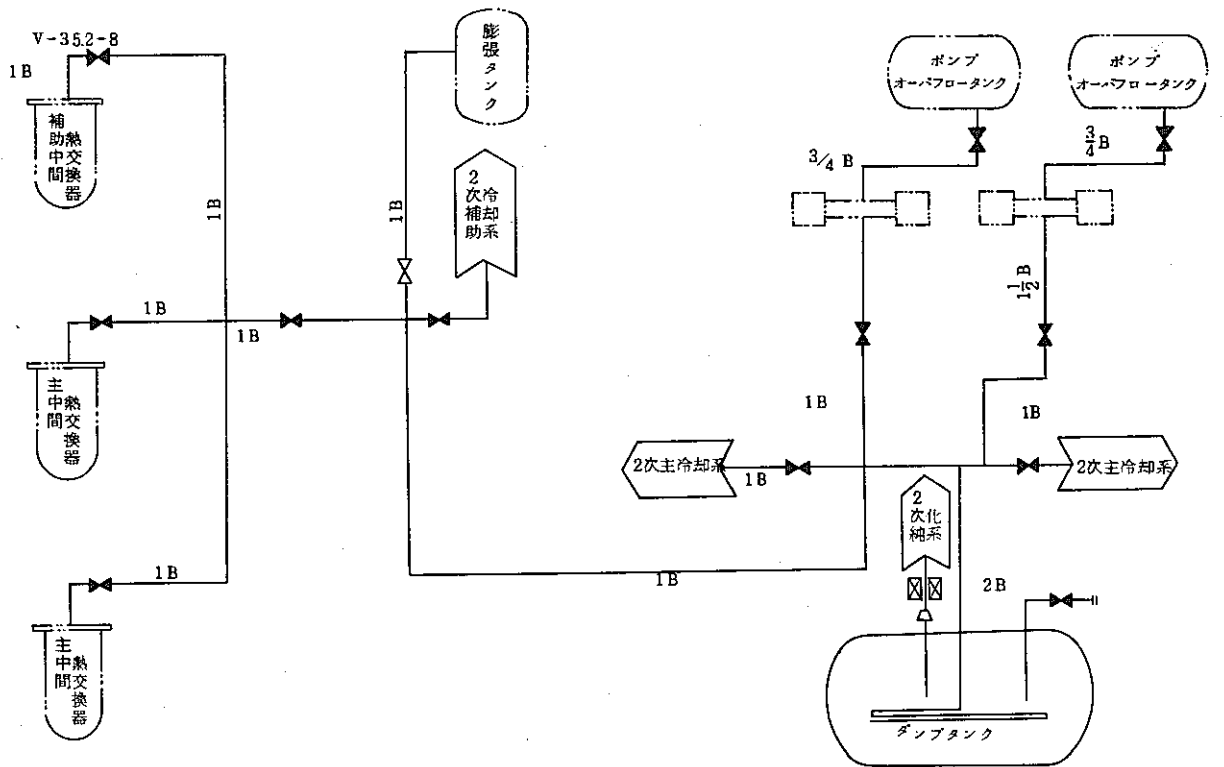
2 次 Na ダンプタンク上階室に設置されているナトリウム供給系設備より、最大  $83 \text{ m}^3$  のナトリウム貯蔵能力のあるダンプタンク 1 基に、ナトリウム  $73 \text{ ton}$  ( $150^\circ\text{C}$  比重  $0.9152$   $79.8 \text{ m}^3$ ) を受入れ貯蔵する。

(iv) ナトリウム充填

2 次冷却系統施設を  $150^\circ\text{C}$  以上に予熱し、機器、配管内圧を  $0.1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ g}$  程度に調整した後、再びダンプタンクを約  $1.5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ g}$  に加圧し、ダンプタンク内ナトリウムを系統内に押し上げる。2 次主冷却系主循環ポンプおよびオーバフロタンクに設けられた液面計により系統内ナトリウム充填が終了したことを確認する。



第 3 - 22 図 2 次純化系系統図



第 3 - 23 図 2 次ナトリウム充填ドレン系系統図

(V) ナトリウムドレン

ダンプタンクおよび主循環ポンプ、オーバフロタンク、膨張タンクに接続されるアルゴンガス配管を2次アルゴンガス系呼吸ヘッダーを介して導通させ、系統に接続される充填ドレン配管の止弁を開き、系統内ナトリウムをダンプタンクにドレンさせる。この時のドレンの状態は、ダンプタンクに接着される液面計により確認される。

(11) 2次アルゴンガス系統設備

本系統は、1次アルゴンガス系と同じく、2次系各機器のナトリウム自由液面をアルゴンガスによって覆い、温度変化等による圧力変化はカバーガスを呼吸することによって制御する。排気ガスは、2次系非放射性なので、ダクトに直接排気する。2次アルゴンガス系はこの他に2次系ナトリウム、アルゴンガス雰囲気初期置換、系統内ナトリウムの真空加圧移送、サーベランス材料出入時のページガス供給等も行なうことができる。

2次アルゴンガス系の系統図を第3-24に示す。

2次アルゴンガス系は、次の各部分より構成される。(供給側より)

2次アルゴンガス系盤

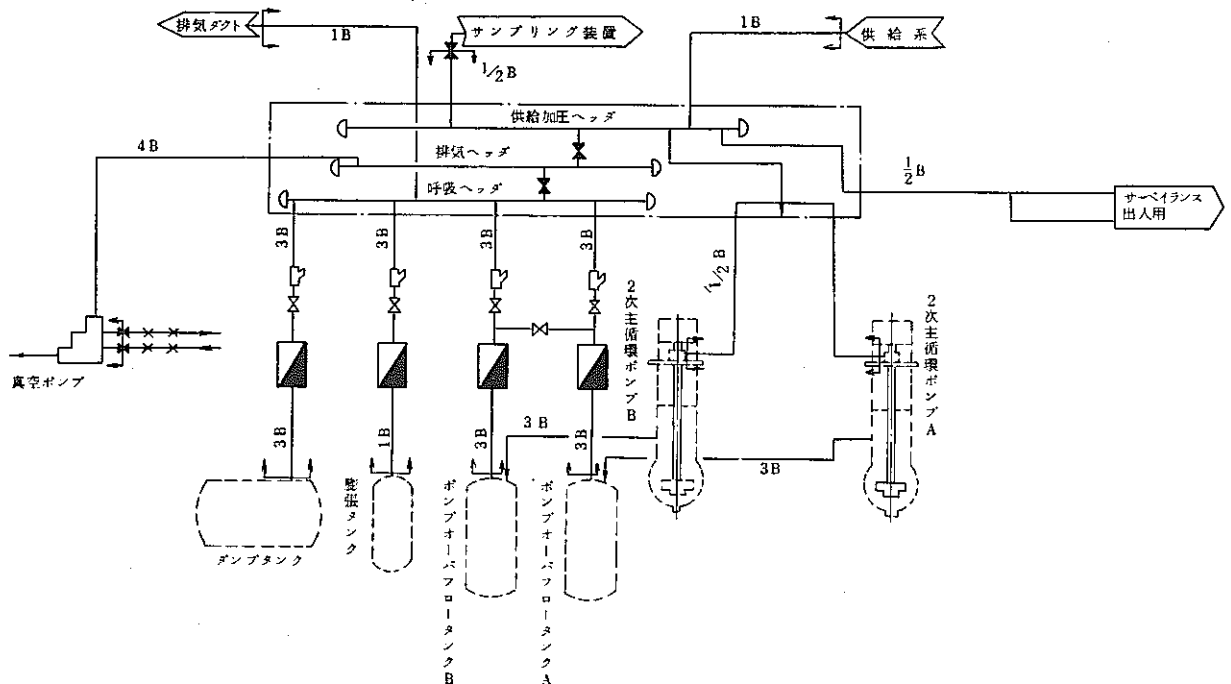
供給・加圧ヘッダ

ベーパーラップ(ダンプタンク、オーバフロタンク、膨張タンク)

呼吸ヘッダ

排気ヘッダ

真空ポンプ



第3-24図 2次アルゴンガス系系統図



## 1) 初期ナトリウム充填

系統内へナトリウムを充填する前に、真空ポンプによって、2次系のナトリウム、アルゴンガスに接する雰囲気を真空置換しアルゴンガスを充填する。アルゴンガス供給側については、ガスバージにより置換する。この操作を数回くり返し系統内雰囲気を完全にアルゴンガスに置換する。系統内へナトリウムを充填する前にダンプタンクのナトリウムを純化するために、アルゴンガスでタンクを加圧することによって純化系電磁ポンプまでナトリウムを押し上げ、純化系統設備を運転し所定の純度とする。

系統内へのナトリウム充填は、被充填機器内を真空引きし、ダンプタンク内のナトリウムを真空吸引する。ここで真空の差圧のみでは系統の所要充填レベルまで上がらないことがあるのでダンプタンク液面をアルゴンガスで加圧することによって充填する。この時2次アルゴンガス系盤によって主循環ポンプ、オーバフロタンク、ダンプタンクの液面表示を監視しながらナトリウム充填を行なう。

2次アルゴンガス系盤は、パッケージ化され、加圧、真空引きに使用する操作頻度が高いもの、液面計や真空計などの監視計器が盤表面に配置され、この盤で集中的に操作、監視することができる。

## 2) 通常運転

アルゴンガス供給系から供給されたアルゴンガスは、圧力調節弁によって圧力を下げられ、所定の圧力にした後、供給、加圧ヘッドを介して2次主循環ポンプの軸封部に供給される。このガスはガス連通管によってオーバフロタンクに流れ、呼吸ヘッドに導かれる。

排気側圧力調節弁が作動しない場合は、呼吸ヘッドからダンプタンク、膨張タンクのカバーガス空間に導かれる。呼吸ヘッドによって連通し呼吸しているオーバフロタンク4基、主循環ポンプ2基のカバーガス圧力が $0.3\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ になると排気圧力調節弁が開き $0.2\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ になるまで排気ダクトに排気される。排気の際にはベーパートラップによりナトリウムベーパー、ミストを除去することが出来る。ベーパートラップの下流側には、ベーパートラップバックアップフィルターが設けられ、以後の配管、弁にナトリウムが付着するのを防いでいる。

## 3) サーベランス、ナトリウムサンプリングのバージガス供給

2次系のサーベランス試験片は、2次主配管、オーバフロタンク、ダンプタンク内に5組挿入されており、これらは必要に応じて適時取出される。この時に系統内に空気が混入しないようにアルゴンガス系の各機器のそばまで来ているノズルより、周辺雰囲気をバージする。またナトリウムサンプリング装置についてはサンプリングボックスにアルゴンガスノズルが接続され、サンプリングコイル内をアルゴンガス雰囲気に置換する。

## 4) 中間熱交換器の2次側ナトリウムドレン

主中間熱交換器A、Bの2次側ナトリウムをドレンする場合は2次側最下部までドレン配

管が挿入されているので、ダンプタンク以外のナトリウム自由液面を持つ機器を加圧し、ダンプタンクを真空引することによって差圧を上げ、2次ナトリウムをドレンする。補助中間熱交換器については、膨張タンクから加圧し同じくダンプタンクへドレンする。

## (12) 原子炉冷却系諸設備

### (i) 予熱窒素ガス系統設備

予熱窒素ガス系統設備は、原子炉運転前に原子炉容器、中間熱交換器、循環ポンプなどの主要機器や配管からなる1次冷却ループ内へナトリウムを充填する前にそれらの機器、配管を予熱する設備のうち高温の窒素ガスを使用して予熱を行なう設備であって、原子炉容器および1次冷却系の機器、配管のうち2重構造となっている部分のアニュラス部雰囲気をプラント運転に先立ち空気から窒素ガスに置換すると共に機器、配管内へのナトリウム充填前にアニュラス部に高温の窒素ガスを循環させ、原子炉容器、内部構造物、1次冷却系の機器配管を150°C以上に200時間以内で予熱する機能を持っている。

この設備には170m<sup>3</sup>/min 2,000mmAq(定格)の循環ブローと最大200kWの加熱器があり240°Cの窒素ガスが1次冷却系の2重構造部分のアニュラス部の原子炉容器および主冷却配管の一部と主中間熱交換器、主循環ポンプおよび主冷却系の残り配管と1次補助冷却系機器、配管の3つに分けられて系統を予熱する。

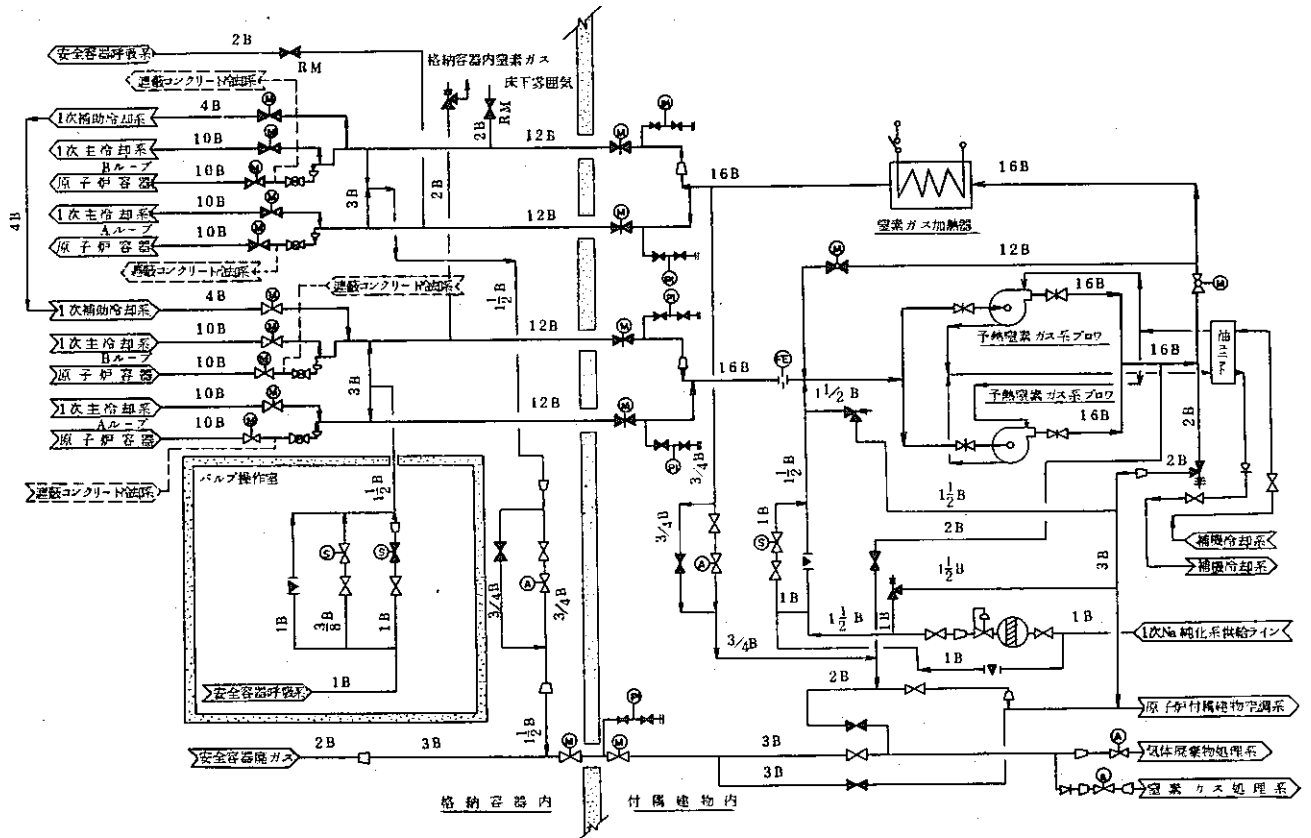
原子炉通常運転時には、格納容器隔離弁を閉鎖し予熱系としての運転は行なわないが、1次冷却系のナトリウムの温度変化によりアニュラス部内の窒素ガスが圧力変化するために圧力制御を行なう。このときの排気ラインは放射化された窒素ガスが出てくるので廃棄物処理系につながっている。この排気ラインは安全容器呼吸系の排気ラインとも共用している。

床下メンテナンス時には、遮蔽コンクリート冷却系にて炉心冷却を行なうがこのときに予熱窒素ガス系と遮蔽コンクリート冷却系を接続し予熱系を介して炉心の冷却を行なう。予熱窒素ガス系の遮蔽コンクリート冷却系との取合部は、2重バルブになっておりアニュラス部側を開とする。このとき遮蔽コンクリート冷却系が異常状態になることを考慮し1次補助系の予熱を行なっていないなければならない。遮蔽コンクリート冷却系が異常状態になり炉心の冷却が不可能になった時1次補助冷却系に炉容器内のナトリウムを充填し、補助冷却系により炉心冷却を行なう。予熱窒素ガス系統設備の系統図を第3-25図に示す。

### (ii) アルゴンガスおよび窒素ガス供給系統設備

アルゴンガスおよび窒素ガス供給設備は、1次系、2次系カバーガス、燃料取扱設備シールガス等のアルゴンガス系統設備と安全容器呼吸系、予熱窒素ガス系、格納容器床下雰囲気調整系、メンテナンス設備等の窒素ガス系統設備へ各々アルゴンガス、窒素ガスの供給を行なう。ガス供給系統設備は極低温の液体アルゴン(-186°C)液体窒素(-196°C)を蒸発器を通してガス化し、常温状態にしたのち各々の系統へ供給される。またガス供給系統設備の機器配管は耐震Cクラスで設計されている。液体アルゴン、および液体窒素の接触部分

は低温時の機械的強度低下の少ない、オーステナイト系ステンレス鋼およびアルミニウム材が用いられている。



第 3 - 25 図 予熱窒素ガス系系統図

(a) アルゴンガス供給系統設備

アルゴンガス供給系統設備は、液体アルゴン 2500ℓ (ガス状で約 2200 m<sup>3</sup>) を貯蔵する貯蔵タンクと、初期置換時の 1 次系カバーガスラインの必要流量から、300 Nm<sup>3</sup>/hr のアルゴンガスを蒸発させる送ガス気化器が設けられており、常温アルゴンガスは、1 次アルゴンガス系には 3 Kg/cm<sup>2</sup>g、燃料取扱系その他には 7.0 Kg/cm<sup>2</sup>g でそれぞれの供給タンクを介して供給される。

液体アルゴン貯蔵タンクは 2 重構造になっており真空断熱方式 (5 × 10<sup>-2</sup> mmHg) とし、内部は更に断熱効果を高めるためパーライトを充填している。

内部の圧力は 7.0 Kg/cm<sup>2</sup>g に保持するため加圧自動弁と加圧気化器により自動的にコントロールされる。

(b) 窒素ガス供給系統設備

窒素ガス供給系統設備は、液体窒素 11,000ℓ (ガス状態で約 8000 m<sup>3</sup>) を貯蔵する貯蔵タンクと、初期置換時の格納容器床下窒素雰囲気置換時のガス流量を評価して、2,000 Nm<sup>3</sup>/hr の窒素ガスを蒸発させる送ガス気化器が設けられている。窒素ガスの初期置換時には、多量のガスを蒸発させるため温水加温式による蒸発器を用いて設備の小型化を計っている。

各系統への供給圧力は、全て 7 Kg/cm<sup>2</sup>g に調節されており、3 つの供給ヘッダーによって下流側に供給する。

液体窒素貯蔵タンクは、アルゴンガス系と同様、2重構造による真空断熱方式（ $5 \times 10^{-3}$  mmHg）とし外槽との間にはパーライトを充填している。また内部圧力は、液体アルゴン貯蔵タンク同様加圧自動弁および加圧気化器により  $7.0 \text{ Kg/cm}^2\text{g}$  に維持される。

また供給系統設備は、回転機器は一切使用しておらず、下流側の使用要求に応じて自動的に一定圧力で供給される。

アルゴンガス、窒素ガス供給系統設備の系統図を第3-26図および第3-27図に示す。

### (iii) 格納容器貫通部冷却系統設備の概要

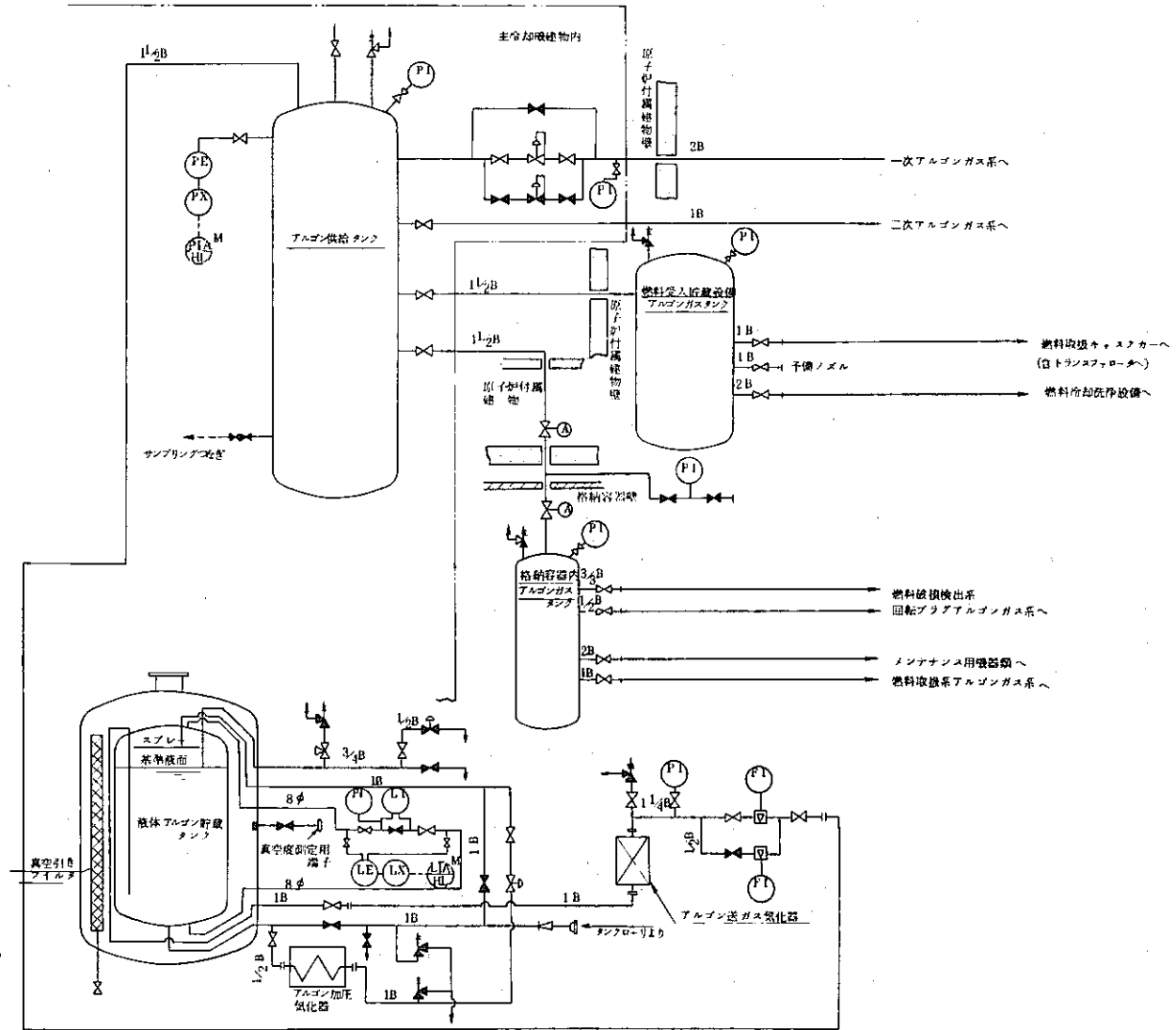
格納容器貫通部冷却系統設備は、高温ナトリウムが流れる格納容器貫通配管すなわち、2次主冷却系高温側、低温側配管、2次補助冷却系高温側、低温側配管の2次遮蔽壁支持部から、2次遮蔽壁への伝熱によるコンクリート損傷を防止するために設けられ、オイルタンク、ポンプ、格納容器貫通部冷却ジャケットにより構成され、油による冷却を行なっている。

格納容器貫通金物は、格納容器バウンダリを形成し、またアニュラス部にナトリウムが落ちるのを防止する機能を有し、型式はメタルベローズ式である。

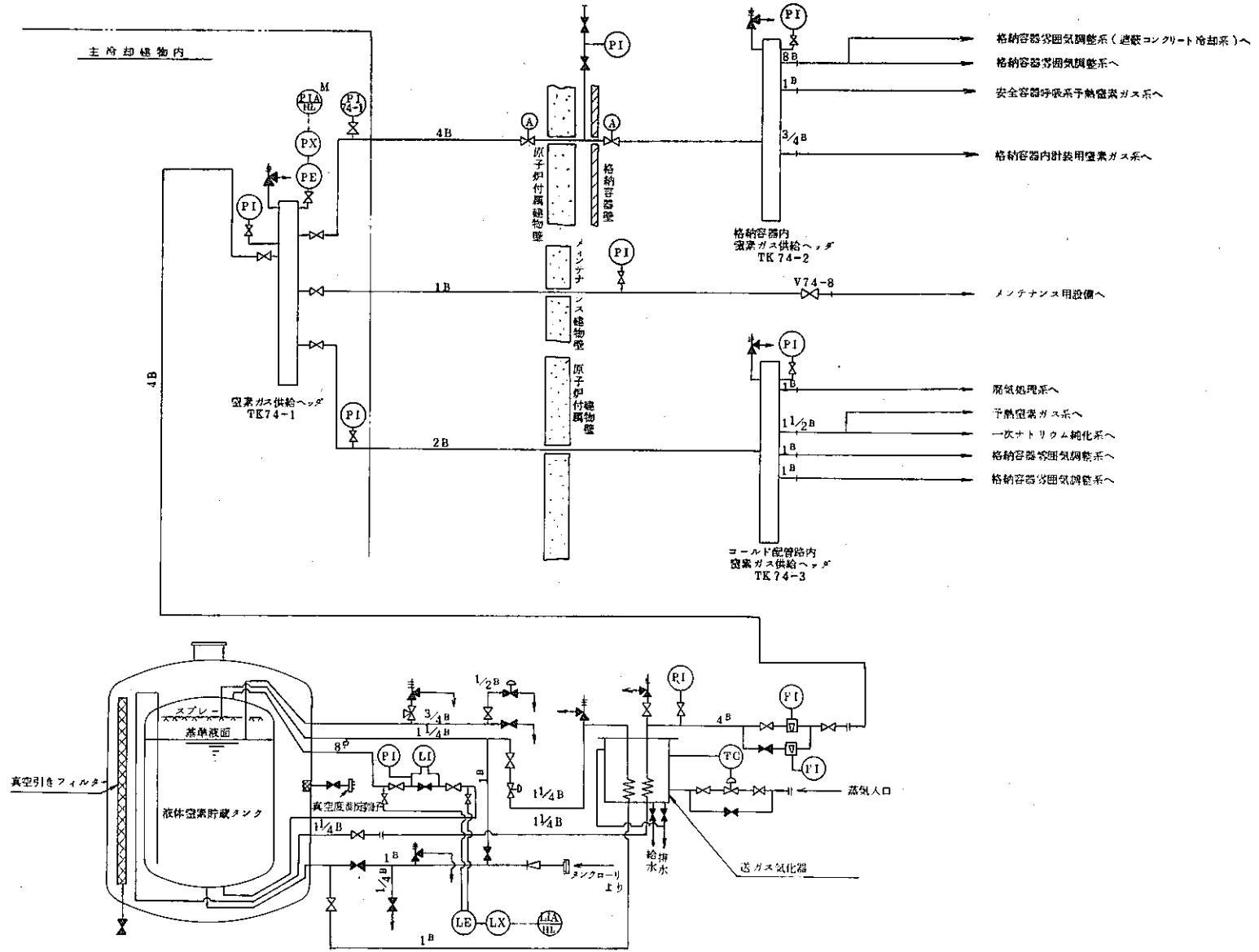
また、格納容器貫通金物は、貫通部機器と固定金具より構成されている。貫通部機器は、格納容器バウンダリを構成するスリーブ、フランジ、メタルベローズおよび貫通配管と格納容器バウンダリには入らない付属のスリーブおよびベローズより構成されている。

固定金具は、格納容器貫通配管を2次遮蔽壁に固定する機能を有し、プレート、フランジおよび冷却ジャケットより構成されている。

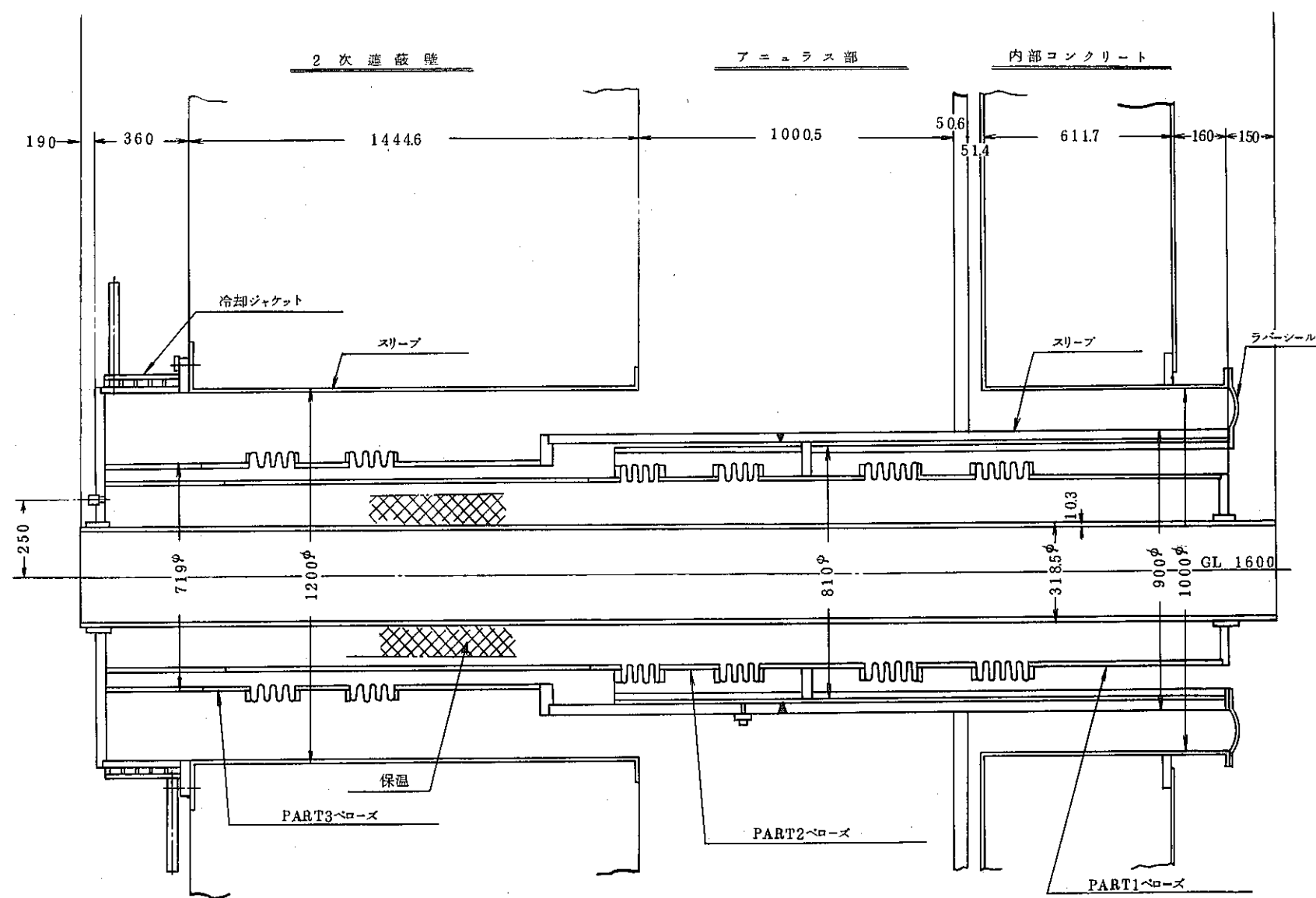
代表的な貫通部の構造を第3-28図に示す。



第3-26図 アルゴンガス供給系系統図



第3-27図 窒素ガス供給系系統図



第3-28図 格納容器貫通部構造図

3.2 各系統設備の主要目

第 3 - 1 表 主 要 目

H : 高さ, L : 長さ,  $\phi$  : 径, t : 肉厚 (mm)

系 統 名	機 器 , 配 管 名	主 要 目
1 次 主 冷 却 系	主中間熱交換器 A	型 式 たて形自由液面シェルアンドチューブ型 数 量 1基/Aループ 主要寸法 内 径 2,300 mm 高 さ 6,940 mm 伝熱管本数 2835本 " 外径 15.9 mm 主要材質 SUS 304
	主中間熱交換器 B	型 式 たて形自由液面シェルアンドチューブ型 数 量 1基/Bループ 主要寸法 内 径 2,244 mm 高 さ 8,310 mm 伝熱管本数 1812本 " 外径 22.2 mm 主要材質 SUS 304
	主循環ポンプ	型 式 たて軸自由液面遠心式 数 量 2基/2ループ 主要材質 SUS 304 流量(定格) 1085.6 ton/hr 内 径 外ケーシング 1,200 mm 高 さ 6,400 mm 回 転 数 930 r. p. m 出 力 定 格 330 kW(3000V) ボイモータ 出 力 2.2 kW(100V) 回 転 数 130 r. p. m
	主電磁流量計	型 式 鞍形空心コイル式 数 量 2基/2ループ 材 質 SUS 304 測定範囲 150 ~ 1400 m <sup>3</sup> /hr 主要寸法 450 $\phi$ × 3000 L (mm)
	サイフォンブレイクライン 電磁流量計	型 式 永久磁石式 数 量 2基/2ループ 材 質 SUS 304 測定範囲 15 ~ 250 l/min 主要寸法 650 <sup>W</sup> × 500 <sup>H</sup> × 1300 <sup>L</sup> (mm)
	配 管 主中間熱交換器 ~ 主循環ポンプ	型 式 2重管, 2系統, 材 質 SUS 27 直 径 内 管 18 <sup>B</sup> , 外 管 20 <sup>B</sup> 肉 厚 内 管 7.9 <sup>t</sup> , 外 管 3.0 <sup>t</sup> 全 長 約 24 m
	主循環ポンプ ~ 炉容器	直 径 内 管 12 <sup>B</sup> , 外 管 16 <sup>B</sup> 肉 厚 内 管 9.5 <sup>t</sup> , 外 管 3.0 <sup>t</sup>



	炉容器～ 主中間熱交換器	全長 直徑 肉厚 全長	約30m 内管 20 <sup>B</sup> , 外管 22 <sup>B</sup> 内管 9.5 <sup>t</sup> , 外管 3.0 <sup>t</sup> 約30m
1 次 補 助 冷 却 系	補助中間熱交換器	型式 數量 主要寸法 伝熱管 材質	たて置シェル・アンド・チューブ型 1基 内径 550mm 高さ 3760mm 外径 159mm 本数 132本 SUS304
	循環ポンプ	型式 數量 流量 主要寸法 材質	2重壁フラット・リニア・インダクション型 1基 定格 56.5 ton/hr 920 <sup>W</sup> ×3100 <sup>L</sup> ×1240 <sup>H</sup> (mm) SUS304
	電磁流量計	型式 數量 測定範囲 主要寸法 材質	永久磁石式 1基 18～70m <sup>3</sup> /hr 840 <sup>W</sup> ×1000 <sup>L</sup> ×790 <sup>H</sup> (mm) SUS304
	配管 炉容器～ 補助中間熱交換器 補助中間熱交換器 ～循環ポンプ  循環ポンプ ～炉容器	型式 直徑 肉厚 全長 直徑 肉厚 全長 直徑 肉厚 全長	2重管, 1系統, 材質 SUS27 内管 4 <sup>B</sup> , 外管 6 <sup>B</sup> 内管 4.0mm, 外管 2.8mm 約20m 内管 4 <sup>B</sup> , 外管 6 <sup>B</sup> 内管 4.0mm, 外管 2.8mm 約15mm 内管 3 <sup>B</sup> , 外管 6 <sup>B</sup> 内管 4.0mm, 外管 2.8mm 約30m
オ ー バ フ ロ ー 系	汲上げポンプ	型式 數量 主要寸法 流量 主要材質	1重壁フラットリニアインダクション型 1基 870 <sup>W</sup> ×1034 <sup>H</sup> ×2300 <sup>L</sup> (mm) 11ton/hr SUS304
	オーバーフロータンク	型式 數量 容量 主要寸法 主要材質	横置円筒型 1基 25m <sup>3</sup> 3000 <sup>φ</sup> ×4528 <sup>L</sup> (mm) SUS304
	電磁流量計	型式 數量 主要寸法 測定範囲 主要材質	永久磁石式 1基 600 <sup>W</sup> ×520 <sup>H</sup> ×1000 <sup>L</sup> (mm) 5～15m <sup>3</sup> /hr SUS304

	配管 オーバフロ系 汲上げ系	形式 主要寸法 主要寸法 主要材質	1重管, 1系統 $4^B \times 40^t$ , 全長約35m $2^B \times 35^t$ , 全長約54m SUS27
1 次 ナ ト リ ウ ム 純 化 系	コールドトラップ	型式 数量 主要寸法 主要材質	メッシュ充填式窒素ガス強制冷却型 2基 $950^\phi \times 6400^H \times 10^t$ SUS304HP
	コールドトラップ エコノマイザー	型式 数量 主要寸法 主要材質	2重管式 1基 $1200^W \times 5500^L \times 2200^H$ SUS27HTP
	電磁ポンプ	型式 数量 流量 揚程 主要寸法 主要材質	1重壁リアインダクション型 1基 10 ton/hr 50 m Na(500℃ 10 ton/hr) $750^W \times 2300^L \times 1400^H$ SUS304HP
	純化系電磁流量計	型式 数量 測定範囲 主要寸法 主要材質	永久磁石式 1基 $3 \sim 15 \text{ m}^3/\text{hr}$ $650^W \times 1000^L \times 500^H$ SUS27
	ブラギング計	型式 数量 主要寸法 主要材質	オリフィスプレート型 1基 $270^\phi \times 3000^L$ SUS27HTP
	ブラギング計 電磁流量計	型式 数量 測定範囲 主要寸法 主要材質	鉄心コイル励磁式 1基 $1 \sim 60 \text{ l}/\text{min}$ $600^W \times 1000^L \times 500^H$ SUS27
	ブラギング計 エコノマイザー	型式 数量 主要寸法 主要材質	2重管式 1基 $50^\phi \times 2200^L$ SUS27HTP
	コールドトラップ 冷却窒素ガス 循環プロア	型式 数量 吐出風量 吸込圧力 吐出圧力 揚程 主要寸法 主要材質	片吸込ターボプロアキャンドタイプ 1基 $178.6 \text{ Nm}^3/\text{min}$ (定格) $5 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \text{ g}$ (定格) $5.3 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \text{ g}$ (定格) 3000 mmAq $1300^L \times 1400^H$ FC25
	コールドトラップ 冷却窒素ガス冷却器	型式 数量 主要寸法 主要材質	シェルアンドチューブ型 1基 $650^\phi \times 5800^L$ SM41A

1 次 ナ トリ ウム 純 化 系	コールドトラップ 冷却窒素ガス サージタンク	型 式 数 量 容 量 主要寸法 主要材質	円筒縦置型 1 基 3 m <sup>3</sup> 1200 <sup>φ</sup> × 3300 <sup>H</sup> × 9 <sup>t</sup> SM41A
	配 管	主要材質 SUS 27 STPG38	主要寸法 2 <sup>B</sup> Sch 20      1 <sup>B</sup> Sch 20 14 <sup>B</sup> Sch 30      10 <sup>B</sup> Sch 20 8 <sup>B</sup> Sch 40      6 <sup>B</sup> Sch 40 3 <sup>B</sup> Sch 40      1 <sup>B</sup> Sch 40 1 <sup>1/2</sup> <sup>B</sup> Sch 40      1/2 <sup>B</sup> Sch 40
	弁	ナトリウム用弁 窒素ガス用弁 水 用 弁	ベローズシール止弁 止弁, 自力式圧力調整弁, ピストン弁 バタフライ弁, 安全弁, ダンパー, ダイヤフラム弁 止弁, 逆止弁
1 次 ナ トリ ウム サ ン プ リ ン グ 系	サンプリングコイル	型 式 数 量 寸 法 容 量 材 質	蛇管 1 基 105 <sup>φ</sup> × 1000 <sup>L</sup> 約 100 cm <sup>3</sup> SUS27
	サンプリングコイル用 ポット	型 式 数 量 寸 法 材 質	たて形円筒 1 基 160 <sup>φ</sup> × 250 <sup>H</sup> SUS27
	遮 蔽 体	型 式 寸 法 材 質	ドーム形 990 <sup>φ</sup> × 1260 <sup>H</sup> 鉛, 炭素鋼
	グローブボックス	型 式 数 量 寸 法 主要材質	箱形 1 基 700 <sup>W</sup> × 1300 <sup>L</sup> × 700 <sup>H</sup> 炭素鋼
	真 空 ポ ン プ	型 式 数 量 寸 法	油回転式 1 基 260 <sup>W</sup> × 500 <sup>L</sup> × 340 <sup>H</sup>
	1 次 移 送 キ ャ ス ク	型 式 数 量 寸 法 主要材質	箱形台車 (4 輪付) 1 基 240 <sup>W</sup> × 280 <sup>L</sup> × 190 <sup>H</sup> 鉛, 炭素鋼
1 次 ナ トリ ウム 系 充	ダ ン プ タ ン ク	型 式 数 量 容 量 主要寸法 主要材質	横置円筒型 2 基 95 m <sup>3</sup> /基 5000 <sup>φ</sup> × 6300 <sup>L</sup> × 20 <sup>t</sup> SM41A
	配 管	主要寸法	3 <sup>B</sup> Sch 10      3 <sup>B</sup> Sch 20

		主要材質	2BSch20 1BSch20 SM27HTP
	弁	型式 主要材質	ベローズシール止弁 SCS13, SUS27
1 次 ア ル ゴ ン ガ ス 系	供給タンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	縦置円筒形 1基 10m <sup>3</sup> 2300 $\phi$ × 3000 <sup>H</sup> SM41
	呼吸ガス圧力調整ヘッド	型式 数量 主要寸法 主要材質	円筒形ヘッド 1基 3185 $\phi$ × 3500 <sup>L</sup> SUS304
	加圧ヘッド	型式 数量 主要寸法 主要材質	円筒形ヘッド 1基 1143 $\phi$ × 1000 <sup>L</sup> SUS304
	ベーパーラップ	型式 数量 主要寸法 主要材質 冷却方法 再生方法	メッシュ充填式 原子炉容器 = IHX 1基 主循環ポンプ 2基 オーパフロタンク 1基 500 $\phi$ × 13000 <sup>L</sup> SUS304 空冷 ヒータ加熱
	ポンプ軸シール ガスアキュムレータ	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	円筒形ヘッド 1基 0.03m <sup>3</sup> 216.3 $\phi$ × 1000 <sup>L</sup> SUS304
	低圧タンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	縦置円筒形ヘッド 1基 10m <sup>3</sup> 2300 $\phi$ × 3000 <sup>H</sup> SM41
	真空ポンプ	型式 数量 排気速度 致達真空度	油回転式 1基 15000 $\ell$ /min 5 × 10 <sup>-3</sup> Torr
	アルゴンガス サンプリング 装置	サンプリング方式 数量 主要寸法 主要材質	バイパスサンプリング 1基 容器 80 <sup>W</sup> × 130 <sup>L</sup> × 60 <sup>H</sup> 遮蔽体上段 480 $\phi$ × 230 <sup>H</sup> 下段 360 $\phi$ × 70 <sup>H</sup> SUS304

1 次 アル ゴン ガス 系		遮蔽体	鉛, 炭素
	配管	主要寸法 主要材質	6 <sup>B</sup> , 4 <sup>B</sup> , 3 <sup>B</sup> , 2 <sup>1/2</sup> <sup>B</sup> , 2 <sup>B</sup> , 1 <sup>B</sup> , 1/2 <sup>B</sup> , 3/4 <sup>B</sup> , 1/4 <sup>B</sup> , 3/8 <sup>B</sup> SUS27TP, HTP STPG38
	弁	型式 主要材質	・放射性アルゴンガスに接する部分 ペローズシール止弁 ピストン弁 (安全弁として使用) ・清浄アルゴンガスに接する部分 グラウンドシール止弁 ニードル弁, 自立式圧力調整弁, ピストン弁 電磁弁, 安全弁, 逆止弁 SCS13, SF45
2 次 主 冷 却 系	循環ポンプ	型式 数量 容量 回転数 主要寸法 主要材質 定格容量	立軸1段自由液面式遠心ポンプ 2基 定格流量 10856 ton/hr 定格揚程 35 mNa (定格) 975 rpm 850 <sup>φ</sup> × 3900 <sup>L</sup> × 16 <sup>t</sup> SUS304 180 kW
	主冷却器	型式 数量 熱交換容量 伝熱面積 伝熱管寸法 主要材質	多管フィンチューブ強制空冷式 4基 25 MWt/基 1225 m <sup>2</sup> 427 <sup>φ</sup> × 4800 <sup>L</sup> × 20 <sup>t</sup> STBA24, STPA24
	主送風機	型式 数量 風量 吐出圧 回転数 定格容量	入口ベーン付両吸込両置ターボファン 4基 7380 m <sup>3</sup> /min 195 mm Aq 585 rpm 400 KW
	主冷却器入口ダンパ	型式 数量 駆動方式 主要寸法 主要材質	バタフライ式 4基 空気圧作動 3500 <sup>W</sup> × 4820 <sup>L</sup> × 1210 <sup>H</sup> SS41
	主冷却器出口ダンパ	型式 数量 駆動方式 主要寸法 主要材質	バタフライ式 4基 電動機駆動 3530 <sup>W</sup> × 4820 <sup>L</sup> × 1210 <sup>H</sup> SB42
	主冷却系空気冷却設備 用ダクト	型式 数量 主要寸法	角形鋼板製 4基 3000 <sup>W</sup> × 3000 <sup>L</sup> × 4.5 <sup>t</sup>

2 次 主 冷 却 系		主要材質	SS41
	主冷却系空気冷却設備 用伸縮継手	型 式 主要寸法 主要材質	メタルベローズ式 3540 <sup>W</sup> × 4830 <sup>L</sup> × 260 <sup>H</sup> SS41
	配 管	型 式 系 統 数 主要寸法 主要材質	1重管 2ループ 12 <sup>B</sup> × 103 <sup>t</sup> , 約248m 10 <sup>B</sup> × 93 <sup>t</sup> , 約 30m 8 <sup>B</sup> × 82 <sup>t</sup> , 約 23m STPA24
	2次主冷却系配管 格納容器貫通金物	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	メタルベローズ型 4基 900 <sup>φ</sup> × 4000 <sup>L</sup> STPA24 , SUS29CP
	2次主冷却系配管格納 容器貫通金物冷却装置 油冷却器	型 式 数 量 熱交換量 主要材質	シェルアンドチューブ型熱交換器 2基 131 × 10 <sup>6</sup> Kcal/h SS41 , STB35
	油ポンプ	型 式 数 量 定格流量 定格揚程 主要材質	横型渦巻式 2基 10 <sup>t</sup> /h 7 Kg/cm <sup>3</sup> ・g FCD45 , SCS13
	油タンク	型 式 数 量 主要材質	縦置円筒型 1基 SS41
	ストレーナ	型 式 数 量	ノッチワイヤー式手動逆洗型 1基
	配 管	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	1重管 1系統 3 <sup>B</sup> 油配管 SGP 冷却水配管 STPG38
	電磁流量計	型 式 数 量 測定範囲 主要寸法 主要材質	直流励磁空心コイル式 2基 0 ~ 1600 m <sup>3</sup> /h 3185 <sup>φ</sup> × 2000 <sup>L</sup> × 103 <sup>t</sup> SUS27TP
オーバフロタンク	型 式 数 量 容 量 主要寸法 主要材質	横置円筒サドル支持形 2基 3.3 m <sup>3</sup> 1400 <sup>φ</sup> × 3525 <sup>L</sup> × 9 <sup>t</sup> SB42	

2 次 補 助 冷 却 系	循環ポンプ	型式 数量 定格流量 定格吐出圧 電源容量 主要寸法 主要材質	フラットリニアインダクション型 1基 56.5 ton/h 4 Kg/cm <sup>2</sup> ・g 130 KW 2750 <sup>L</sup> SUS32
	補助空気冷却器	型式 数量 熱交換容量 伝熱面積 伝熱管寸法 主要材質	強制空冷フィンチューブ多管式 1基 2.6 MW 210 m <sup>2</sup> 427 <sup>φ</sup> × 2180 <sup>L</sup> × 20 <sup>t</sup> STBA24 , STPA24
	補助送風機	型式 数量 風量 吐出量 回転数 定格容量	インレットベーン付片吸込横置ターボファン 1基 890 m <sup>3</sup> /min 95 mm Aq 735 rpm 30 KW
	入口ダンパ	型式 数量 駆動方式 主要寸法 主要材質	バタフライ式 1基 空気圧作動 1470 <sup>W</sup> × 2200 <sup>L</sup> × 500 <sup>H</sup> SS41
	出口ダンパ	型式 数量 駆動方式 主要寸法 主要材質	カンチレバータイプ 1基 電動機駆動 1470 <sup>W</sup> × 2200 <sup>L</sup> × 250 <sup>H</sup> SB42
	ダクト	型式 数量 主要寸法 主要材質	角形鋼板製 (吸気ダクトは丸形鋼板製) 1基 吸込ダクト 1350 <sup>φ</sup> × 45 <sup>t</sup> 、 出口ダクト 1000 <sup>W</sup> × 1000 <sup>L</sup> × 45 <sup>t</sup> SS41
	伸縮継手	型式 主要寸法 主要材質	メタルベローズ式 750 <sup>W</sup> × 1000 <sup>L</sup> × 158 <sup>H</sup> SS41
	膨張タンク	型式 数量 主要寸法 主要材質	堅置円筒形 1基 700 <sup>φ</sup> × 1184 <sup>h</sup> × 6 <sup>t</sup> SB42
	配管	型式 系統数 主要寸法 主要材質	1重管 1ループ 3 <sup>B</sup> × 115000 <sup>L</sup> × 34 <sup>t</sup> STPA24

2 次 補 助 冷 却 系	弁	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	Y形グローブ式 4 3 <sup>B</sup> , 1 <sup>B</sup> , 3/4 <sup>B</sup> STPA24
	格納容器貫通金物	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	メタルベローズ型 2 基 900 <sup>φ</sup> × 4000 <sup>L</sup> STPA24, SUS29CP
	補助プラグイン計	型 式 数 量 測定範囲 ナトリウム流量 主要寸法 主要材質	空冷式自動連続指示型 1 基 プラグイン温度 250 ~ 120°C 3 l/min 機器パネル 600 <sup>W</sup> × 1000 <sup>L</sup> × 1700 <sup>H</sup> SUS27HP
	電磁流量計	型 式 数 量 測定範囲 主要寸法 主要材質	永久磁石式 1 基 0 ~ 80 m <sup>3</sup> /h 891 <sup>φ</sup> × 5.5 <sup>t</sup> SUS32
2 次 ナ ト リ ウ ム 純 化 系	電磁ポンプ	型 式 数 量 定格流量 定格揚程 主要寸法 主要材質	交流ファラデー型 1 基 5.2 ton/h 3 Kg/cm <sup>2</sup> 700 <sup>W</sup> × 1000 <sup>L</sup> × 700 <sup>H</sup> ポンプ管本体 SUS32TP
	コールドトラップ	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	強制空冷エコノマイザー内蔵型式 1 基 930 <sup>φ</sup> × 4100 <sup>H</sup> × 8 <sup>t</sup> ASTMA387D
	コールドトラップ 冷却用送風機	型 式 数 量 容 量 主要寸法 主要材質	横置ターボ型 1 基 110 m <sup>3</sup> /min 800 <sup>W</sup> × 1600 <sup>L</sup> × 1300 <sup>H</sup> SS41
	電磁流量計	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	永久磁石式 2 基 330 <sup>W</sup> × 400 <sup>L</sup> × 210 <sup>H</sup> 流量計本体 SUS27TP
	プラグイン計	型 式 数 量 主要寸法 主要材質	強制空冷自動式 1 基 600 <sup>W</sup> × 1000 <sup>L</sup> × 1700 <sup>H</sup> 配管材質 SUS27TP
	サンプリング装置	型 式 採取個所 主要寸法	サンプルチューブ型 1 個所 600 <sup>W</sup> × 600 <sup>L</sup> × 1100 <sup>H</sup>



2 次 ナ ト リ ウ ム 純 化 系		主要材質	チューブ SUS27TB
	配 管	主要寸法	2B Sch 40      3B Sch 40 1B Sch 40      1 $\frac{1}{2}$ B Sch 40 $\frac{3}{4}$ B Sch 40
		主要材質	STPA24
	弁	型 式	ベローズシール型止弁 逆止弁
		主要材質	F22
2 次 ナ ド ト レ リ ン ウ ム 系 充 填	ダンプタンク	型 式	横置円筒サドル支持型
		数 量	1 基
		容 量	83 m <sup>3</sup>
		主要寸法	3800 $\phi$ × 7900 <sup>L</sup> × 14 <sup>t</sup>
		主要材質	SB42
	配 管	主要寸法	2B Sch 40      1B Sch 40 $\frac{3}{4}$ B Sch 40
		主要材質	STPA24
	弁	型 式	ベローズシール止弁
		主要材質	F22
2 次 ア ル ゴ ン ガ ス 系	2次アルゴンガス系 操作盤	型 式	セミグラフィック自立盤
		数 量	1 基
		主要寸法	3000 <sup>L</sup> × 600 <sup>W</sup> × 2100 <sup>H</sup>
		主要材質	SS41
	供給・加圧ヘッダ	型 式	横置円筒形
		数 量	1 基
		主要寸法	2 <sup>B</sup> × 1500 <sup>L</sup>
		主要材質	STPG38
	ベーパーラップ	型 式	縦置フィン付円筒形 (冷却部 + メッシュ)
		数 量	オーバーフロータンク用      2 基 ダンプタンク用                      1 基 膨張タンク用                          1 基
		主要寸法	1652 $\phi$ × 1700 <sup>H</sup> 1652 $\phi$ × 1150 <sup>H</sup> *1)
		主要材質	STPT42
		冷却方法	自然空冷
			*1) 膨張タンクベーパーラップを示す。
	バックアップ フィルター	型 式	Y型メッシュ充填式フィルター (フィルター取換方式)
		数 量	オーバーフロータンク      2 基 ダンプタンク                      1 基 膨張タンク                          1 基
		主要寸法	510 <sup>L</sup> × 299.6 <sup>H</sup> 456 <sup>L</sup> × 283.5 <sup>H</sup> *1)
		主要材質	STPG38

2次アルゴンガス系	呼吸ヘッダ	型式 数量 主要寸法 主要材質	横置円筒形 1基 $3^B \times 1900^L$ STPG38
	真空ポンプ	型式 数量 排気速度 致達真空度	油回転式 1基 $500 \text{ l/min}$ $5 \times 10^{-3} \text{ Torr}$
	配管	主要寸法 主要材質	$3^B, 2^B, 1^B, \frac{3}{4}^B, \frac{1}{2}^B$ SUS27TP, STPA24, STPG38
	弁	型式 主要材質	ベローズシール止弁, 電磁弁, 自方式圧力調整弁, ニードル弁, バネ式安全弁 SCS13, SCPH2, SF45,
予熱窒素ガス系設備	加熱器	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	電気ヒータ投入式 1基 最大200 KW $1500^\phi \times 2000^H \times 6^t$ SM41A
	循環ブロア	型式 数量 吐出風量(定格) 吐出圧力(定格) 主要寸法 主要材質	1段片吸込ターボブロア 2基 $170 \text{ m}^3/\text{min}$ 2000 mm Aq $2300^L \times 1100^H$ SS41
	配管	主要材質 主要寸法	SUS27TP $10^B \text{ Sch } 10$ STPG38 $12^B \text{ Sch } 30$ $10^B \text{ Sch } 30$ $4^B \text{ Sch } 40$ $3^B \text{ Sch } 40$ $2^B \text{ Sch } 40$ $1\frac{1}{2}^B \text{ Sch } 40$ $1^B \text{ Sch } 40$ $\frac{3}{4}^B \text{ Sch } 40$ $\frac{3}{8}^B \text{ Sch } 40$ STPY41 $16^B 7.9^t$
	弁	型式	止弁, 自力式圧力調整弁, 電磁弁, 安全弁 ピストン弁
アルゴンガス供給設備	液体アルゴン貯蔵タンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	二重円筒たて型真空断熱式 1基 $2.5 \text{ m}^3$ (液体アルゴン) $1600^\phi \times 3600^H$ 内槽 SUS27 外槽 SS41
	アルゴン送ガス化器	型式 数量 蒸発能力 主要寸法 主要材質	室温式アルミニウムたてフィン型 1基 $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ $2500^L1 \times 1100^L2 \times 2500^H$ アルミニウム

アルゴンガス供給設備	アルゴン加圧気化器	型式 数量 蒸発能力 主要材質	室温式アルミニウム横フィン型 1基 10 Nm <sup>3</sup> /h アルミニウム
	アルゴンガス供給タンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	たて型円筒式 1基 8 m <sup>3</sup> 1900 <sup>φ</sup> × 3200 <sup>H</sup> SB46
	燃料受入貯蔵設備清浄アルゴンガスタンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	横形円筒式 1基 3 m <sup>3</sup> 1200 <sup>φ</sup> × 3000 <sup>H</sup> SB46
	格納容器内清浄アルゴンガスタンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	たて形同筒式 1基 1.5 m <sup>3</sup> 1100 <sup>φ</sup> × 1900 <sup>H</sup> SB46
	アルゴンガス供給系配管	主要材質	貯蔵タンクよりTK-73-1まで SUS27 TK-73-1より各系統 STPG38
窒素ガス供給設備	液体窒素貯蔵タンク	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	二重円筒たて形真空断熱式 1基 11 m <sup>3</sup> (液体窒素) 2600 <sup>φ</sup> × 5800 <sup>H</sup> 内槽 SUS27 外槽 SS41
	窒素送ガス気化器	型式 数量 蒸発能力 主要寸法 主要材質	スチーム加温式特殊型 1基 2000 Nm <sup>3</sup> /h 1600 <sup>φ</sup> × 1900 <sup>H</sup> チューブ SUS28 胴 SS41
	窒素加圧気化器	型式 蒸発能力 主要材質	スチーム加温式特殊型 90 Nm <sup>3</sup> /h SUS28
	窒素ガス供給ヘッド	型式 数量 容量 主要寸法 主要材質	横形円筒式 1基 0.38 m <sup>3</sup> 500 <sup>φ</sup> × 2800 <sup>L</sup> 胴 STPT38 端部平板 SF45

窒 素 ガ ス 供 給 設 備	格納容器内窒素ガス 供給ヘッド	型 式 数 量 容 量 主要寸法 主要材質	横型円筒式 1 基 0.3 m <sup>3</sup> 400 <sup>φ</sup> × 2500 <sup>L</sup> 胴 STPT38 端部平板 SF45
	原子炉付属建物内窒 素ガス供給ヘッド	型 式 容 量 主要寸法 主要材質	横形円筒式 0.05 m <sup>3</sup> 100 <sup>φ</sup> × 1400 <sup>L</sup> 胴 STPT38 端部平板 SF45
	窒素ガス供給配管類	主要材質	貯蔵タンクよりTK-74-1まで SUS27 TK-74-1から各系統まで STPT38
格 納 容 器 貫 通 部 冷 却 系 統 設 備	油ポンプ	型 式 数 量 容 量 回 転 数 電 動 機 主要寸法 主要材質	横置遠心式 2台(うち1台予備) 定格流量 10.95 m <sup>3</sup> /hr 定格揚程 7.0 kg/cm <sup>2</sup> 2900 rpm(定格) 15 KW(定格), 400 V, 全長約670 mm (吸込ノズルより駆動カップリングまで) 外部ケーシングFCD45, 羽根車SCS13
	油冷却器	型 式 数 量 熱交換量 主要寸法 冷却水流量 主要材質	シェルアンドチューブ型熱交換器 2基(うち1台予備) 1.31 × 10 <sup>5</sup> Kcal/hr 412 <sup>φ</sup> × 2729 <sup>L</sup> (mm) 30 ton/hr 胴, 管板: SS41, 伝熱管: STB35
	油タンク	型 式 数 量 容 量 主要寸法 主要材質	縦置円筒型 1 基 1300 <sup>l</sup> 1262 <sup>φ</sup> × 1448 <sup>H</sup> (mm) SS41
	配 管	主要材質	油配管 STPG38 Sch 40 水配管 STPG38 Sch 40

### 3.3 構造設計

発電用原子力設備の構造設計に用いる「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」並びに高温ナトリウム機器用として、ASME code sect. III, 71及びコード解釈1331-4を基に、それを改良し作成した、「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針（動力炉・核燃料開発事業団、昭和47年3月）を用い、構造設計を行なっている。「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針の特徴は次のとおりである。

- a) 応力評価に用いる材料の設計応力強さ、設計応力はナトリウムの影響を考慮し、高温域（550℃）迄の値を決定している。
- b) 第1種容器、第1種管の設計における応力強さの制限は、コード解釈1331-4により、高温域での修正が成されている。
- c) ナトリウム雰囲気での材料の腐食代を与えている。
- d) 耐震設計の方法を整理している。
- e) クリープを考慮した疲れ解析、サーマルラッチェット解析の方法を含んでいる。

各設備の構造設計は、核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律に基づき、工事の方法と併せ、「設計及び工事の方法の認可申請書」として認可申請を行ない、認可が得られている。

#### (1) 容器および管の区分

設備の構造設計に際しては、設備の重要度に応じた適切な設計を実施し得るよう、各機器、配管類は第1種容器、第2種容器、第3種容器および第4種容器並びに第1種管、第2種管および第3種管にそれぞれ分類され、次の設計法が適用される。

第1種容器、第2種容器および第1種管：－

詳細応力解析または応力計算による強度計算等

第3種容器、第4種容器、第2種管および第3種管：－

基準板厚計算等による規格計算および耐震計算（配管にあつては耐震計算を含む計算）等容器および管の分類の定義と「常陽」原子炉冷却系統施設主要機器配管類の各区分表を第3-2表に、また、各区分を記載したフローシートを第3-29図に示す。

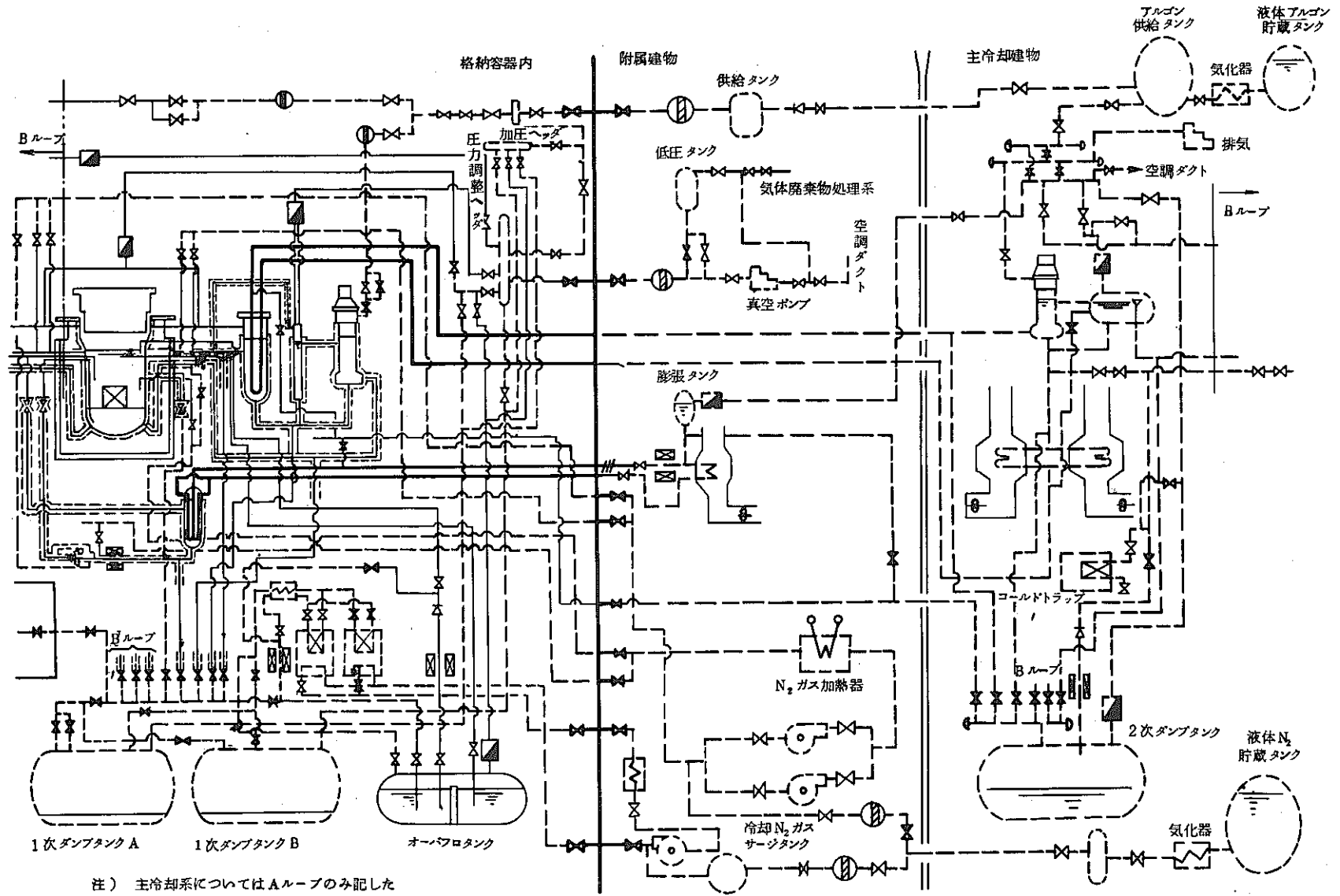
#### (2) 設計に関する各種条件

容器および管の区分に応じる強度計算並びに規格計算の実施は、構造設計に考慮すべき、内圧、自重、熱荷重等各種荷重条件を、それら計算法の計算条件として設定した設計条件或いは運転条件に分類し行なう。運転条件に定められる各種荷重は、施設の各運転状態における各値であつて、設計条件の各種荷重は、運転条件のうちの通常条件の値か或いはそれに余裕をみた値として定められる。強度計算には設計条件並びに運転条件の各条件が、規格計算には設計条件のみが考慮される。

設計に関する各種条件の定め方を第3-3表に、具体的な各系統別、機器別の設計条件および運転条件を第3-4(1)表、第3-4(2)表に各々を示す。

第3-2表 容器および管の区分

分類	容 器				配 管		
	第1種容器	第2種容器	第3種容器	第4種容器	第1種管	第2種管	第3種管
分類の定義	通常運転時に原子炉容器内のナトリウム冷却材と同等の温度、圧力および放射性物質の濃度の冷却材を内蔵するもの	原子炉格納容器およびこれに接続される容器であって、原子炉格納容器およびこれに接続する容器内の機械または器具から放出される放射性物質等の有害な物質の漏洩を防止するために設けられたもの	第1種、第2種容器および補助ボイラ以外の容器にあつて最高使用圧力が0キログラム毎平方センチメートルを越えるもの	第1種、第2種、第3種容器以外の液体を貯蔵するための容器であつて、安全系に属するもの、または貯蔵する液体の放射性物質の濃度が1マイクロキュリー毎立方センチメートル以上のもの	第1種容器相互を連結する管および第1種容器に取付けられる管であつて当該容器からこれに最も近い止弁(第2止弁が必要な場合は第2止弁)まで	第1種管および放射性管理設備に属するダクト以外の管であつて最高使用圧力が0キログラム毎平方センチメートルを越える管	放射線管理設備に属するダクトであつて、内包する放射性物質の濃度が1マイクロキュリー毎立方センチメートル以上のもの
一次系	主中間熱交換器 1次主循環ポンプ 1次Naオーバーフロータンク 補助中間熱交換器 1次主循環ポンプオーバーフロロラム	主中間熱交換器の格納容器バウンダリ	1次Naダンプタンク 1次Naコールドトラップ 1次Naコールドトラップエコノマイザー 主中間熱交換器リークジャケット 1次主循環ポンプオーバーフロラムリークジャケット Naガスプロア N <sub>2</sub> ガス加熱器	該当なし	1次主冷却系配管 1次補助冷却系配管 1次オーバーフロロ系配管	1次Na純化系配管 1次Na充填ドレン系配管 1次Arガス系配管 1次主冷却系外管 1次補助冷却系外管 1次オーバーフロロ系外管 予熱N <sub>2</sub> ガス系配管	該当なし
二次系			2次主循環ポンプ 主冷却器 ポンプオーバーフロータンク 補助冷却器 2次Naダンプタンク 2次Naコールドトラップ 2次Naコールドトラップエコノマイザー ベーパートラップ			2次主冷却系配管 2次補助冷却系配管 2次Na純化系配管 2次Na充填ドレン系配管 2次Arガス系配管	



注) 主冷却系についてはAループのみ記した

- 第1種容器及び第1種管
- 第2種容器
- - - 第3種容器及び第2種管

第3-29図 機器配管の分類

第 3.3 表 設計に関する各種条件の定め方

設 計 条 件		運 転 条 件			
設 計 圧 力	設 計 温 度	通 常 条 件	異 常 条 件	緊 急 条 件	損 傷 条 件
通常運転時に生ずる内外面の圧力差の最高値以上に定める。	通常運転時に生ずる実際の金属温度の最高値以上に定める。	通常条件は起動，出力運転高温待期および停止の状態より定める。	異常条件は通常運転よりしばしば逸脱する運転に対して定められる。具体的には単一の運転ミスや故障の結果生ずる過渡条件等を含めて定める。装置はこの条件に対して運転上支障がないよう設計される。	緊急条件は通常運転よりの逸脱で，生ずる可能性の少ないものとして定められる。この状態では原子炉の停止はやむをえない。但し，全体の大きな損傷は起きないように設計される。この条件は全部で寿命中 25 回以下とする。	損傷条件は生ずる確率は極度に小さいが，考えられる事故に対して定める。この状態になった場合，炉の安全性（公衆災害等）を確保しなければならぬ。

第 3-4(1)表 設計および運転条件（その 1）

系 統 名	機 械 名	温 度 (°C)					圧 力 (Kg/cm <sup>2</sup> g)				
		設 計 条 件	運 転 条 件				設 計 条 件	運 転 条 件			
			通 常 状 態	異 常 状 態	緊 急 状 態	損 傷 状 態		通 常 状 態	異 常 状 態	緊 急 状 態	損 傷 状 態
1次主冷却系	循管ポンプ										
	吸込側	450(250)	250~370 (150~230)	Max 377	Max 470	Max 550	1.0(1.0)	0.073(0)	0.073	0.073	0.073
	吐出側	" "	" "	" "	" "	" "	7.2(1.0)	6.78(0)	6.78	6.78	6.78
	主中間熱交換器										
	1次側(胴側)	550(250)	250~500	Max 515	Max 515	Max 550	1.0(1.0)	0.433	0.433	0.433	0.433
	2次側(管側)	"( )"	250~470	Max 488	Max 496	"	5.0(1.0)	4.05	4.05	4.05	4.05
	リーク・ジャケット	550	250~500	-	-	-	1.0(0)	-	-	-	-



	配管 炉容器 ～主中間熱交換器	550(250)	250~500 (150~250)	Max 500	Max 503	Max 550	1.0(1.0)	0.60 (0.005)	0.60	0.60	0.60	0.60	
	主中間熱交換器 ～主循環ポンプ	450(250)	250~370 (150~250)	Max 370	Max 470	"	1.0(1.0)	0.664 (0.005)	0.664	0.664	0.664	0.664	
	主循環ポンプ ～炉容器	" ( " )	"	"	"	"	7.2(1.0)	5.21 (0.005)	5.21	5.21	5.21	5.21	
	外管	550	-	-	-	-	1.0(0.0)	-	-	-	-	-	
1次補助冷却系	循環ポンプ	550(250)	250~414	Max 414	停止時 Max 462	起動時 Max 414	Max 398	1.9(1.0)	0.68	0.68	停止時 Max 0.68	起動時 Max 1.79	1.79
	補助中間熱交換器 1次側(胴側)	550(250)	250~411	Max 411	Max 462	Max 466	Max 528	1.0(1.0)	0.28	0.28	0.28	0.24	0.24
	2次側(管側)	" ( " )	250~400	Max 400	Max 465	Max 418	Max 498	9.6(1.0)	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22
	リーク・ジャケット	550	-	-	-	-	-	1.0(0)	-	-	-	-	-
	配管 炉容器～ 補助中間熱交換器	550(250)	250~401	Max 401	Max 409	Max 466	Max 528	1.0(1.0)	0.28	0.28	0.28	0.04	-0.04
	補助中間熱交換器 ～循環ポンプ	450(250)	250~414	Max 414	Max 462	Max 414	Max 398	1.0(1.0)	0.68	0.68	0.68	0.24	0.24
	循環ポンプ ～逆止弁	" ( " )	"	"	"	"	"	1.9(1.0)	0.68	0.68	0.68	1.79	1.79
	逆止弁 ～炉容器	" ( " )	"	"	"	"	"	7.2(1.0)	4.42	4.42	4.42	0.38	0.38
	外管	550	-	-	-	-	-	1.0(0)	-	-	-	-	-
オーバフロ系	汲上げポンプ	550(250)	250~500 (38~230)	500	Max 503	550	1.9(1.0)	1.66 (0.005)	1.66	1.66	1.66	1.66	
	オーバフロタンク	550(250)	250~500	500	Max 503	550	1.9(1.0)	0.29 (0.005)	0.29	0.29	0.29	0.29	
	配管 炉容器～ オーバフロ配管止弁	550(250)	250~500 (38~230)	500	Max 503	550	1.0(1.0)	0.1 (0.005)	0.1	0.1	0.1	0.1	
	オーバフロ配管止弁 ～オーバフロタンク	"	"	"	"	"	1.9(1.0)	0.1 (0.005)	0.1	0.1	0.1	0.1	

	オーバフロタンク ～汲上げポンプ	550(250)	250～500 (38～230)	500	Max 503	550	1.9(1.0)	0.0 (0.005)	0.0	0.0	0.0
	汲上げポンプ ～同ポンプ出口止弁	"	"	"	"	"	1.9(1.0)	1.66 (0.005)	1.66	1.66	1.66
	汲上げポンプ出口止弁 ～炉容器	"	"	"	"	"	1.9(1.0)	1.42 (0.005)	1.42	1.42	1.42
1次アルゴン ガス系	配管										
	オーバフロタンク ～呼吸ヘッダ	550(250)	250～500 (150～250)	Max 500	Max 503	Max 550	1.9(1.0)	0.01	0.01	0.01	0.01
	炉容器～ 主中間熱交換器	"	"	"	"	"	1.0(1.0)	"	"	"	"
	オーバフロコラムA～ 呼吸ヘッダ	450(250)	250～370 (150～250)	Max 370	Max 470	Max 550	"	"	"	"	"
	オーバフロコラムB～ 呼吸ヘッダ	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	原子炉容器 ベータラップ	550(250)	250～500 (150～250)				1.0(1.0)	0.01			
オーバフロタンク ベータラップ	"	"				1.9(1.0)	"				
主循環ポンプ ベータラップ A・B	450(250)	250～370 (150～250)				1.0(1.0)	"				
2次主冷却系	循環ポンプ	400(250)	250～370 (150～230)	Max 376	Max 447	550					
	ケーシング (吸込側除く)						5.0(1.0)	3.4(1.0)	3.4	3.4	3.4
	吸込側 ナトリウム軸受上部						1.2(1.0)	0.4(1.0)	0.4	0.4	0.4
							1.1(1.0)	0.5(1.0)	0.5	0.5	0.5
	主冷却器	520(250)	250～470 (150～230)	Max 488	Max 496	550	3.0(1.0)	1.42(1.0)	1.42	1.42	1.42
オーバフロタンク	400(250)	250～370 (150～230)	-	-	-	1.2(1.0)	0.4(1.0)	-	-	-	
格納容器貫通部 2次主冷却系配管 ホットレグ用	520(520)	250～470 (150～250)	Max 488	Max 496	550	4.5(1.35)	3.27(1.0)	3.27	3.27	3.27	

	コールドレグ用	400(400)	250~370 (150~250)	Max 376	Max 447	550	5.0(1.35)	3.54(1.0)	3.54	3.54	3.54
	貫通機器アニュラス部	150(150)	-	-	-	-	1.35(0.0)	-	-	-	-
	配管										
	循環ポンプ~ 主中間熱交換器	400(250) <sup>1)</sup>	250~370 (150~250)	Max 376	Max 447	550	5.0(1.0) <sup>2)</sup>	3.54(1.0)	3.54	3.54	3.54
	主中間熱交換器 ~主冷却器	520(250) <sup>1)</sup>	250~470 (150~250)	Max 488	Max 496	550	4.5(1.0) <sup>2)</sup>	3.27(1.0)	3.27	3.27	3.27
	主冷却器~ 循環ポンプ	400(250)	250~370 (150~250)	Max 376	Max 447	550	2.0(1.0)	1.27(1.0)	1.27	1.27	1.27
	循環ポンプ~ ポンプオーバーフロータンク	"	( " )	"	"	"	1.2(1.0)	0.4(1.0)	1.2	1.2	1.2
	ポンプオーバーフロータンク ~2次主冷却系配管	"	( " )	"	"	"	2.0(1.0)	0.65(1.0)	2.0	2.0	2.0
2次補助冷却系	循環ポンプ	400(250)	250~400 (150~230)	Max 400	Max 402	Max 368	8.5(1.0)	4.75(1.0)	8.5	8.5	8.5
	補助冷却器	520(250)	250~400 (150~230)	Max 400	Max 418	Max 498	2.0(1.0)	0.74(1.0)	2.0	2.0	2.0
	膨張タンク	400(250)	250~400 (150~230)	-	-	-	1.9(1.0)	0.74(1.0)	-	-	-
	格納容器貫通部										
	2次補助冷却系 配管										
	ホットレグ用	520(520)	250~400 (150~230)	Max 400	Max 418	Max 498	9.5(1.35)	3.74(1.0)	9.5	9.5	9.5
	コールドレグ用	400(400)	( " )	"	Max 402	Max 368	"	4.33(1.0)	"	"	"
貫通機器アニュラス部	150(150)	-	-	-	-	1.35(0.0)	-	-	-	-	
補助ブラギング計	400(250)	250~400 (150~230)	-	-	-	3.0(1.0)	0.74(1.0)	-	-	-	
配管											
循環ポンプ~ 格納内容器入口弁	400(250) <sup>1)</sup>	250~400 (150~230)	Max 400	Max 402	Max 368	9.5(1.0) <sup>2)</sup>	4.75(1.0)	9.5	9.5	9.5	

格納容器入口弁～ 補助中間熱交換器	400(250)	1) 250～400 (150～230)	Max 400	Max 402	Max 368	2) 9.5(1.0)	433(1.0)	9.5	9.5	9.5
補助中間熱交換器 ～格納容器出口弁	520(250)	1) " ( " )	"	Max 418	Max 498	" ( " )	3.74(1.0)	"	"	"
格納容器出口弁 ～補助冷却器	" ( " )	" ( " )	"	"	"	3.5(1.0)	2.54(1.0)	3.5	3.5	3.5
補助冷却器～ 循環ポンプ	400(250)	" ( " )	"	Max 402	Max 368	2.0(1.0)	0.74(1.0)	2.0	2.0	2.0
2次補助冷却系配 管～ベントライン止弁	" ( " )	" ( " )	"	Max 418	Max 498	3.5(1.0)	0.82(1.0)	3.5	3.5	3.5
2次補助冷却系配 管～膨張タンク及 びベントライン止弁	" ( " )	" ( " )	"	"	"	2.0(1.0)	0.74(1.0)	2.0	2.0	2.0
2次補助冷却系配 管～補助プラグ 計	" ( " )	" ( " )	"	Max 402	Max 368	" ( " )	" ( " )	"	"	"
2次補助冷却系配 管～充填ライン止弁	" ( " )	" ( " )	"	"	"	" ( " )	" ( " )	"	"	"

- 注) 1) 格納容器 バウンダリ機器配管類の設計温度は 550°C  
 2) " 設計圧力(外圧)は 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>・g  
 ( )内は外圧負荷時の条件を示す。

第 3 - 4 (2) 表 設計および運転条件 (その 2)

N965 74-02

系 統 名	機 器 名	温 度 (°C)		圧 力 (Kg/cm <sup>2</sup> ・g)		
		設 計 温 度	運 転 温 度	設 計 圧 力	運 転 圧 力	
一 次 ナ トリ ウム 純 化 系	コールドトラップ ナトリウム側 窒素ガス側	300 (250) "	180 "	5.0 6.0	4.2 5.3	
	コールドトラップエコノマイザ 胴 側 管 側	550 (250) " ( " )	500 414	5.0 1.9	4.2	
	電 磁 ポ ン プ	550 (250)	500	5.0	4.2	
	純化計電磁流量計	550 (250)	500	5.0	4.2	
	ブラギング計	550 (250)	500	5.0	4.2	
	ブラギング計エコノマイザ 胴 側 管 側	550 (250) " ( " )	500 414	1.9 "	- -	
	ブラギング計電磁流量計	550 (250)	500	1.9	-	
	窒素ガス冷却器 胴 側 管 側	120 "	112 "	6.0 10.0	5.3 8.5	
	窒素ガス循環プロア	80	40	6.0	5.3	
	窒素ガスサージタンク	80	40	6.0	5.3	
	サンプリング装置	550 (250)	500	5.0	4.2	
	格納容器貫通部	150 (150)	120	6.0	5.3	
	1次ナトリウム 充填ドレン系	ダ ン プ タ ン ク	250	200 ± 30	1.9	0.01
		格納容器貫通部	250	200 ± 30	1.5	1.35

二次ナトリウム 純化系	コールドトラップ	400 (250)	150~312	8.0	3.0
	電磁ポンプ	400 (250)	340	8.0	3.0
	電磁流量計	400 (250)	340	8.0	3.0
	ブラギング計	400 (250)	340	9.0	3.0
	サンプリング装置	400 (250)	340	8.0	3.0
2次ナトリウム 充填トレン系	ダンプタンク	400 (250)	340	1.9	1.5
	格納容器貫通部	400 (400)	-	1.5	1.35
一次アルゴン ガス系	供給タンク	60 (40)	30	5.0 (1.0)	3.0
	呼吸ガス圧力調整ヘッダ	200 (150)	150	1.0 (1.0)	100±30 mm Ag
	加圧ヘッダ	60 (40)	40	1.9 (1.0)	1.4
	ポンプ軸シールガスアキュムレータ	60 (40)	30	5.0 (1.0)	3.0
	低圧タンク	80 (80)	80	1.0 (1.0)	0~-0.25
	真空ポンプ	40 (80)	80	1.0 (1.0)	5×10 <sup>-3</sup> Torr
	アルゴンガスサンプリング装置	60 (60)	60	1.5 (1.0)	1.0
二次アルゴン ガス系	供給・加圧ヘッダ	40	30	1.0	1.0
	オーバーフロータンクベーパートラップ	400 (250)	340 (150~250)	1.0 (1.0)	0.2~0.3
	ダンプタンクベーパートラップ	400 (250)	340 (150~250)	1.9 (1.0)	0.2~0.3
	膨張タンクベーパートラップ	400 (250)	400 (150~250)	1.9 (1.0)	0.2~0.3
	オーバーフロータンクベーパートラップ バックアップフィルタ	150 (120)	40 (40)	1.0 (1.0)	0.2~0.3
	ダンプタンクベーパートラップ バックアップフィルタ	150 (120)	40 (40)	1.9 (1.0)	0.2~0.3
	膨張タンクベーパートラップ バックアップフィルタ	150 (120)	40 (40)	1.9 (1.0)	0.2~0.3
	呼吸ヘッダ	40	40	1.0	0.8
	排気ヘッダ	(40)	(40)	(1.0)	(1.0)
	真空ポンプ	(40)	(40)	(1.0)	(1.0)

予熱窒素 ガス系	窒素ガス加熱器	300	240	0.5	0.2
	窒素ガス循環ブロー	250	240	0.5	0.2
	格納容器貫通部 循環ライン	250	240	1.5	1.35
	排気ライン	150	40	1.5	1.35
窒素ガス 供給設備	液体窒素貯蔵タンク	-196	-196	11.0	7.0
	窒素送ガス気化器	-196	-196	9.5	7.0
	窒素ガス供給ヘッド	60	室温	9.5	7.0
	上記付属一般弁, 配管	60	室温	9.5	7.0
アルゴンガス 供給設備	液体アルゴン貯蔵タンク	-196	-189.2	11.0	7.0
	アルゴン送ガス気化器	-196	-189.2	9.5	7.0
	アルゴンガス供給タンク	60	室温	9.5	7.0
	アルゴンガスタンク	60	室温	9.5	7.0
	上記付属一般弁類, 配管	60	室温	9.5	7.0
格納容器貫 通部冷却系	貫通部冷却ジャケット	100	50~80	7.5	7.0
	オイルクーラ	100	80~50	7.5	7.0
	オイルポンプ	100	80	7.5	7.0
	オイルタンク	100	80	2.5	2.0
	冷却水系統	50	30~37	5.0	1.35

注1) ここに示す機器, 配管は3種容器, 2種管であり設計条件は, 設計温度, 設計圧力によって決定される。

注2) ( )内は外圧負荷時を示す。

注3) 格納容器バウンダリーの設計圧力, 設計温度は Miniman 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> g, 150°Cである。

## (3) 設計応力強さおよび許容応力

## (i) 設計応力強さ

第一種容器，第一種管の応力評価に用いる材料の設計応力強さは次のように定め，第3-5表に示した。

## (a) 降伏点および引張強さ基準

従来規格と同一の基準（注1）に材料の機械強度におよぼすナトリウムの影響を考慮した値とする。

（注1） 従来規格の基準とは次のものである。

- a 室温での引張強さの  $\frac{1}{3}$
- b 高温での引張強さの  $\frac{1}{3}$
- c 室温での降伏強さの  $\frac{2}{3}$
- d 高温での降伏強さの  $\frac{2}{3}$

オーステナイト鋼では同降伏強さの90%，ただし室温の降伏強さの $\frac{2}{3}$ を越えないこと。

## (b) クリープ特性基準

荷重作用時間の関数としてのクリープ特性にナトリウムのクリープ特性におよぼす影響を考慮して次のように定める。

- a. 荷重作用時間  $t$  でのクリープラプチャの最小値の 66.7%
- b. クリープ歪率が  $1 / \text{荷重作用時間 } t \text{ } \% / \text{hr}$  となる最小値

ただし  $t$  は運転中常に作用する荷重に対しては 131,500 hr 過渡的に作用する荷重に対しては 1,000 hr とし，各々の設計応力強さを  $S_m(s)$  および  $S_m(t)$  とする。

## (ii) 許容応力

第2種容器，第3種容器，第2種管の設計に用いる材料の許容応力は次のように定め，第3-6表，第3-7表に示した。

## (a) 降伏点および引張強さ基準

従来規格と同一の基準（注1）に材料の機械強度におよぼすナトリウムの影響を考慮した値とする。

（注1） 従来規格の基準とは次の通りである。

- a 室温での引張強さの  $\frac{1}{4}$
- b 高温での引張強さの  $\frac{1}{4}$
- c 室温での降伏強さの  $\frac{5}{8}$
- d 高温での降伏強さの  $\frac{5}{8}$

オーステナイトステンレス鋼の場合は降伏点の90%，ただし室温での降伏点の $\frac{5}{8}$ を越えないこと。

## (b) クリープ特性基準



荷重作用時間 131,500 時間とし、これにナトリウムの効果を考慮した材料データより次のように定める。

- a. 荷重作用時間でのクリープラプチャの最小値の 66.7%
- b. クリープ歪率が  $1 / \text{荷重作用時間} \text{ } \% / \text{hr}$  となる最小値

(4) 応力強さの制限に関する基本思想

第 1 種容器、第 1 種管の設計に用いる応力強さの制限は ASME code sect. III, '71 を基に、コード解釈 1331-4 により、高温域で使用可能なよう、修正した制限を用いる。これらを第 3-8 表に示す。

第 3 種容器、第 2 種管等については運転条件等、条件別の設計が行なわれないため、特に「応力強さの制限」は設けられず、実施された設計計算に応じ、第 1 種容器、第 1 種管に適用される応力強さの制限に準じた制限が用いられる。

(5) 耐震設計

各機器、配管類を、安全並びに要求される機能面から、As, A, B および C クラスに分類し、それぞれのクラスに対し定められた方法で地震力を決定し、耐震計算を行なう。As, A クラスに対しては動的解析が要求される。計算結果はすべてのクラスに対して、他の荷重条件による計算結果と組み合わせ、応力評価および疲れ解析が行なわれる。

各耐震クラスのカテゴリの定義と各系統機器の耐震クラスを第 3-9 表に、各系統機器のフローシート上の耐震クラスのカテゴリを 3-30 図に示す。また耐震クラスにおける地震力の決定法とその取扱いを第 3-10 表に示す。

(6) 腐食

ナトリウム接液部（含ナトリウム・ベーパー雰囲気）並びに空気雰囲気における構造材の腐食は第 3-11 表に示す方法により設計上の配慮を行なう。

(7) 疲れとクリープの重ね合わせ

ナトリウム冷却高速炉は高温状態で使用されるため、疲れとクリープの重量効果を考慮する必要がある。「常陽」では第 3-12 表に示す方法により、これを考慮している。

(8) 熱サイクル条件および熱過渡特性

疲れ解析を含め、過渡熱応力解析を行なうための熱サイクル条件および熱過渡特性は系統の熱過渡解析の結果により定めた第 3-14 表の値を用いる。

第 3 - 5 表 設計応力強さ

単位 Kg/mm<sup>2</sup>

種 別	温 度 °C																		
	$\begin{matrix} -30 \\ \sim 40 \end{matrix}$	75	100	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550
SUS 304 Sm(s)	14.1	14.1	14.1	14.1	13.2	12.8	12.4	12.1	11.7	11.5	11.3	11.2	10.9	10.7	10.5	10.3	10.2	9.9	7.8
	Sm(t)	14.1	14.1	14.1	14.1	13.2	12.8	12.4	12.1	11.7	11.5	11.3	11.2	10.9	10.7	10.5	10.3	10.2	10.0
SUS 316 Sm(s)	14.1	14.1	14.1	14.1	13.5	13.2	12.8	12.4	12.2	11.8	11.6	11.4	11.2	11.1	11.0	10.9	10.8	10.7	9.3
	Sm(t)	14.1	14.1	14.1	14.1	13.5	13.2	12.8	12.4	12.2	11.8	11.6	11.4	11.2	11.1	11.0	10.9	10.8	10.7
SUS 316L Sm(s)	11.7	11.7	11.7	11.6	11.0	10.6	10.3	9.9	9.7	9.4	9.2	9.0	8.8	8.7	8.5	8.3	8.2	8.0	7.7
	Sm(t)	11.7	11.7	11.7	11.6	11.0	10.6	10.3	9.9	9.7	9.4	9.2	9.0	8.8	8.7	8.5	8.3	8.2	8.0
SUS 347 Sm(s)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	13.9	13.7	13.5	13.2	13.1	12.9	12.8	12.7	12.7	12.7	10.3	7.8
	Sm(t)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	13.9	13.7	13.5	13.2	13.1	12.9	12.8	12.7	12.7	12.7	11.2	9.7
SCS 13 Sm(s)	14.1	14.1	14.0	13.9	12.5	12.1	11.7	11.4	11.1	10.9	10.7	10.6	10.5	10.4	9.1	9.0	8.8	8.6	6.6
	Sm(t)	14.1	14.1	14.0	13.9	12.5	12.1	11.7	11.4	11.1	10.9	10.7	10.6	10.5	10.4	9.1	9.0	8.8	8.6
$2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo Sm(s)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.5	11.3	11.1	10.9	10.8	10.7	10.6	10.5	10.4	10.3	10.2	8.4	5.9	4.3	-
	Sm(t)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.5	11.3	11.1	10.9	10.8	10.7	10.6	10.5	10.4	10.3	10.2	10.0	9.8	9.3

記) Sm(s), Sm(t) は長期荷重 (荷重作用時間, 131500 hrs.), 短期荷重 (荷重作用時間, 1000 hrs.) に対して, それぞれ定められる値である。

第 3 - 6 表 許 容 応 力 ( ナ ト リ ウ ム 機 器 )

単位 Kg/mm<sup>2</sup>

種 別	温 度 ℃																		
	-30 ~40	75	100	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550
SUS 304	13.0	12.1	11.6	10.9	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.1	7.8
SUS 316	13.0	12.6	12.3	11.9	11.5	11.4	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.1	10.9	10.8	10.5	10.3	10.0	9.3
SUS 316L	11.0	11.0	11.0	11.0	10.9	10.6	10.3	9.9	9.7	9.4	9.2	9.0	8.8	8.7	8.5	8.3	8.2	8.0	7.7
SCS 13	12.2	11.3	10.7	10.2	9.8	9.7	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3	9.3	9.2	9.1	9.1	9.0	8.8	8.6	6.6
2 $\frac{1}{2}$ Cr - 1Mo	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.4	5.9	4.3	-
SB 42	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.1	6.7	-	-	-	-	-	-
SM 41	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-76-

第 3 - 7 表 許 容 応 力 ( 非 ナ ト リ ウ ム 機 器 )

単位 Kg/mm<sup>2</sup>

SUS 304	13.0	12.1	11.6	10.9	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.1	10.0	10.0	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.1	8.4
SUS 316	13.0	12.6	12.3	11.9	11.5	11.4	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.1	10.9	10.8	10.5	10.3	10.0	9.6

第 3 - 8 表 応力強さの制限に関する基本思想

		設計条件に対する制限	通常および異常条件に対する制限	緊急条件に対する制限	損傷条件に対する制限
第一種容器・第一種管	1次一般膜応力強さ $P_m$ 局部膜応力強さ $PL$ 1次膜応力 $PL(P_m)$ + 1次曲げ応力強さ $P_b$	$P_m \leq S_m(s)$ $PL \leq 1.5 S_m(s)$ $PL(P_m) + P_b \leq K S_m(s)$		$P_m \leq 1.2 S_m(s) \text{ or } S_y$ $PL \leq 1.85 S_m(s) \text{ or } 1.5 S_y$ $PL(P_m) + P_b \leq 1.8 S_m(s) \text{ or } 1.5 S_y$	緊急条件と同様の制限とする。
	1次 ( $PL + P_b + P_e$ ) + 2次応力強さ $Q$ エクспанション応力強さ $P_e$ 疲労およびクリープを考慮した サーマルララチェット		$PL + P_b + P_e + Q \leq 3 S_m(t)$ $P_e \leq 3 S_m(s) \text{ or } S_m(t)$ $U_f \leq 1$		
第一種管	1次応力強さ	$B_1 \frac{PD_0}{2t} + B_2 \frac{D_0}{2I} M_i$ $\leq K S_m$		$B_1 \frac{PD_0}{2t} + B_2 \frac{D_0}{2I} M_i$ $\leq 1.5 K S_m(t)$	$B_1 \frac{PD_0}{2t} + B_2 \frac{D_0}{2I} M_i$ $\leq 2 K S_m(t)$
	1次 + 2次応力強さ		$S_m = C_1 \frac{P_0 D_0}{2t} + C_2 \frac{D_0}{2I} M_i$ $+ \frac{1}{2(1-\nu)} E \alpha   \Delta T_1  $ $+ C_3 E \alpha   a T_a - \alpha_b T_b  $ $\leq 3 S_m(t)$		
	ピーク応力強さ		$U \leq 1.0$		

第 3 - 9 表 耐震設計上の分類

耐震クラス分類	As クラス	A クラス	B クラス	C クラス
分類の定義	Aクラスのうちでも安全上特に重要なもの、すなわち原子炉停止機器、および格納容器	その機能喪失が原子炉事故をひき起こすおそれのあるもの、および原子炉事故の際に放射線障害から公衆を守るために必要なもの	高放射性物質およびNaを含むものでAsおよびA以外のもの	As・A・Bクラス以外のもので通常の耐震性を要するもの
適用系統機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主中間熱交換器 2次 Na保持部</li> <li>・ 2次主冷却系格納容器内配管</li> <li>・ 2次補助冷却系格納容器内配管</li> <li>・ 格納容器貫通部（1次 Ar ガス系，1次 Na 純化系，1次 Na 充填ドレン系，予熱 N<sub>2</sub> ガス系，2次主冷却系，2次補助冷却系，2次 Na 充填ドレン系）</li> </ul>	1次主冷却系 1次補助冷却系 オーバフロ系 1次 Na 充填ドレン系の1部 1次 Na 純化系の1部 1次 Ar ガス系の1部 2次主冷却系 2次補助冷却系 2次 Na 充填ドレン系の1部 2次 Ar ガス系の1部	1次 Na 純化系 1次 Na 充填ドレン系 1次 Ar ガス系の1部 2次 Na 純化系 2次 Na 充填ドレン系	1次 Ar ガス系 2次 Ar ガス系 予熱 N <sub>2</sub> ガス系 Ar ガス・N <sub>2</sub> ガス供給系

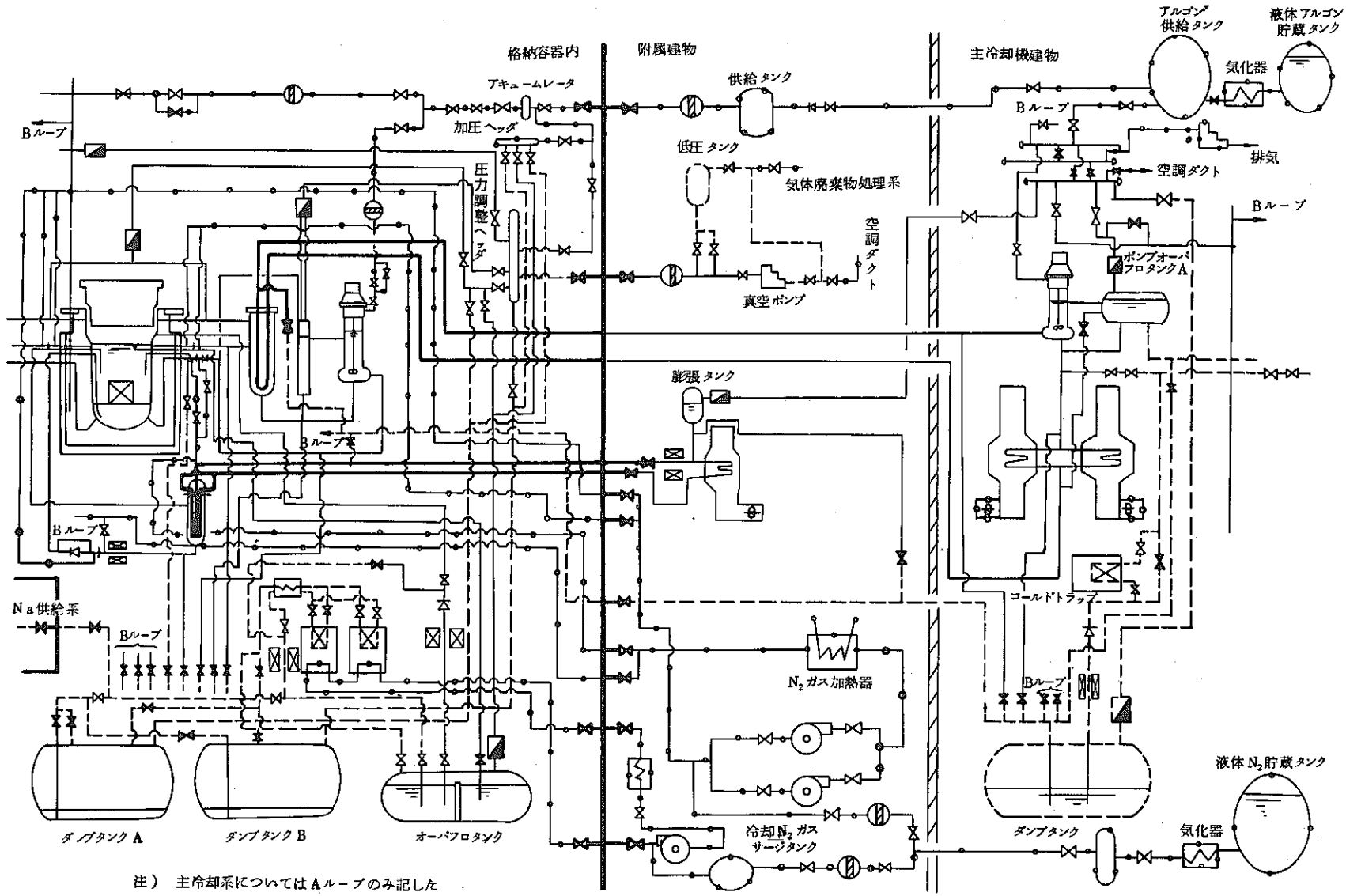
第 3 - 10 表 耐震設計に対する考え方

耐熱クラスの分類	A s ・ A クラス	B クラス	C クラス
水平地震力	<ol style="list-style-type: none"> <li>剛構造体<sup>*1</sup>：建築基準法に定める震度 C<sub>0</sub><sup>*2</sup> の 3 倍、または建物の動的解析から定まる据付位置における加速度の大きい方の値に、機器に対する倍率 1.2<sup>*4</sup> を乗じた値とする。</li> <li>柔構造材<sup>*5</sup>：設計地震による建物との連成系の動的解析から定まる地震力とする。但し、この値が剛構造材として、前記 1. の方法で求めた値を下まわる場合は、1. の方法で求めた値とする。</li> </ol>	1.8 C <sub>0</sub>	1.2 C <sub>0</sub>
垂直地震力	建物の基礎底面における建物の水平震度 (C <sub>0</sub> = 0.2 × 0.9) の 1.5 倍に機器に対する倍率 1.2 を乗じた値とする。	—	—
水平と垂直地震力の組合せ	水平および垂直地震力が同時にかつ不利な方向に作用した組合せを考える。	—	—
安全機能確認	A s クラスの機器に対しては、9.2 の地震力による応力評価に加えて動的解析により求めた水平地震力を 1.5 倍したものを水平地震力として、A s クラスとして要求される機能が確保される検討を行なうこと、この機能確保の条件は応力、歪、変位等の制限であり、機器毎に定めるものとする。	/	/
地震と他条件との組合せ	地震荷重は(2)設計に関する各種条件の荷重に組合せてそれぞれの条件に定められた。応力制限にて評価する。		
疲れ解析における地震荷重による応力の取扱い。	累積係数 $S_t > \frac{1}{2} S_s \text{ の場合}$ $\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_t - 1}{N_t} + \frac{n_s - 1}{N_s} + \frac{n_{st}}{N_{st}} < 1$		

$$S_t \leq \frac{1}{2} S_s \text{ の場合}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_t}{N_t} + \frac{n_s}{N_s} < 1$$

- 注) \*1 剛構造体とは一次固有振動数が励振されやすい値のもので、建物の卓越振動数から2倍以上離れているか、20 Hz 以上のものを言う。これ以外のものは柔構造とみなす。
- \*2 建築基準法に定める震度  $C_0$  とは、建物の基礎底面における震度より建物の高さによる割増を考慮した値である。ここに基礎底面における震度は 0.18 でこれは建築基準法に定められた震度 0.2 に地盤および建築物の構造の種別により定められた係数 0.9 (建設省告示第1074号) を乗じて求めた値である。
- \*3 動解析に用いる減衰係数 ( $h$ ) は次のものとする。
- |                         |       |
|-------------------------|-------|
| ① 溶接構造機器                | 0.01  |
| ② ボルト締構造機器              | 0.02  |
| ③ A <sub>s</sub> クラス配管類 | 0.005 |
| ④ A クラス配管類              | 0.01  |
- \*4 機器配管に対する割増係数
- \*5 設計地震には次の2つの地震波を使用する。
- |                    |      |       |         |
|--------------------|------|-------|---------|
| ① EL CENTRO (1940) | NS成分 | 最大加速度 | 150 gal |
| ② AKITA (1964)     | EW成分 | 最大加速度 | 100 gal |
- これらによる動的応答は、TAFT(1952) 最大加速度 150 gal による応答より大きくなる。



注) 主冷却系についてはAループのみ記した

第3-30図 耐震クラスの種類

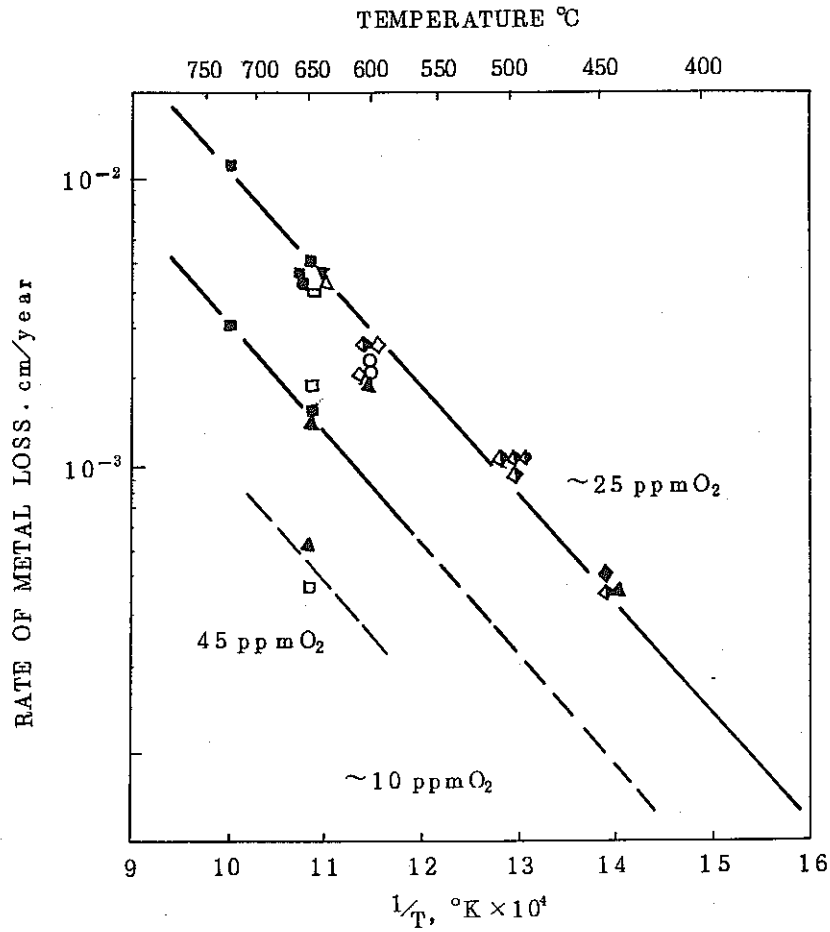
— As  
 - - - A  
 ····· B  
 ● C



第 3 - 1 1 表 設計に考慮した腐れ代

Na による腐食		空気による腐食	
一般腐食	局部腐食	一般腐食	局部腐食
腐れ代を強度部材より除く	1. 一般機器 一般腐食と同様腐れ代として強度部材より除く。この場合安全側に一般腐食に加算する。  *1 2. 特殊機器 i) 強度上局部腐食による全面板厚減少は考えないものとする。 ii) 強度上の問題がなくても局部腐食により機能上の問題が生ずるものについてはあらかじめ十分な検討を行なう。	腐れ代を強度部材より除く	—
$\alpha G = C_o N_o + C_R N_R$ $\alpha G$ : 腐れ代 (mm) $C_o$ : 運転時の腐食率 (mm/year) $C_R$ : 停止時の腐食率 (mm/year) $N_a$ : 出力運転時間 (years) $N_R$ : $N_a$ 注入後の停止時間 (years)	オーステナイトステンレス鋼 0.25 (mm)  低合金鋼 0.13 (mm)	オーステナイトステンレス鋼 0 mm 低合金鋼 510 °C以下 0.5 mm 520 °C 0.8 mm  炭素鋼 400 °C以下 1.0 mm	—

- 注) 1. 設計寿命 20年
2. 腐食率  $C_o$  および  $C_R$  は Nettlay の実験結果を用いた。(第3-31図参照)  
 $N_o$  および  $N_R$   
 $N_o = 20(\text{years}) \times 0.75(\text{plant factor}) = 15(\text{years})$   
 $N_R = 20 - 15 = 5(\text{years})$
3. 腐食率  $C_o$  および  $C_R$  の値を得る条件
- ① 温度条件 : 出力運転または停止時の金属の温度とする。ただし、問題がない限り  $C_o$  は設計温度,  $C_R$  は 400 °C とする。
- ② ナトリウム純度 : 出力運転または停止時のナトリウム純度であるが,  $C_o$  に対しては 1次 Na 15 ppm  $O_2$ , 2次 Na 25 ppm  $O_2$ ,  $C_R$  に対しては, 1次 2次 Na 共 50 ppm  $O_2$  とする。



Materials

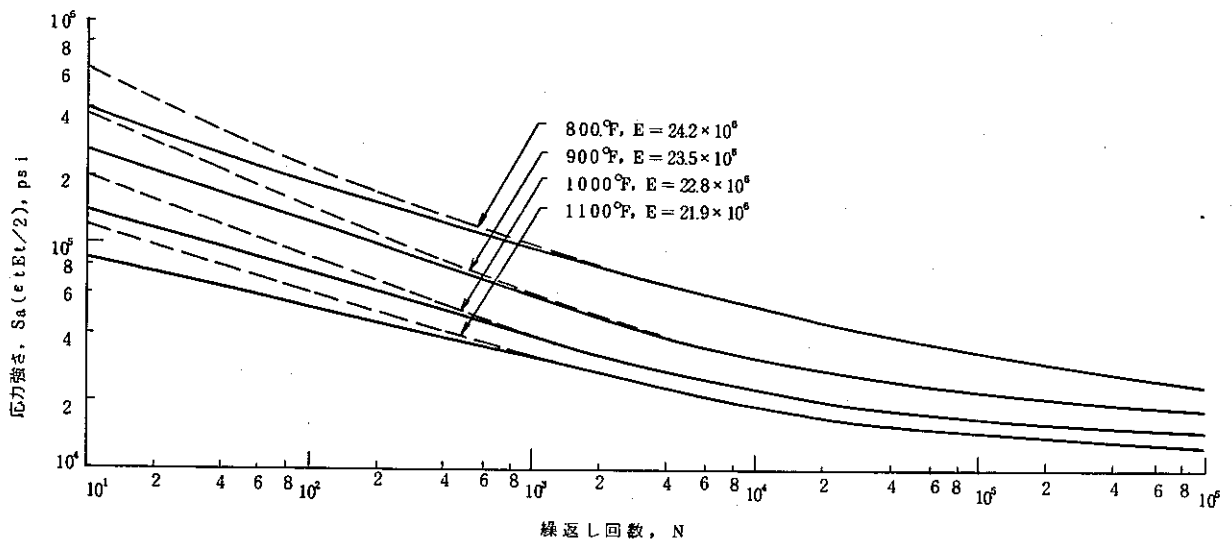
- Type 316 stainless steel, annealed
- 316 stainless steel, annealed, 20% R.of A.
- 316L stainless steel, annealed
- ▲ 18/8/Ti stainless steel, annealed
- △ Nimonic P.E.16
- ◇ 2 1/4 Cr1Mo ferritic steel, annealed, normalized and tempered + 30% R.of A.
- 2 1/4 Cr1MoNbTi ferritic steel, annealed, normalized and tempered
- ◇ 9Cr1MoV ferritic steel

第3-31图 Metal Loss Rates for Hot Leg Component

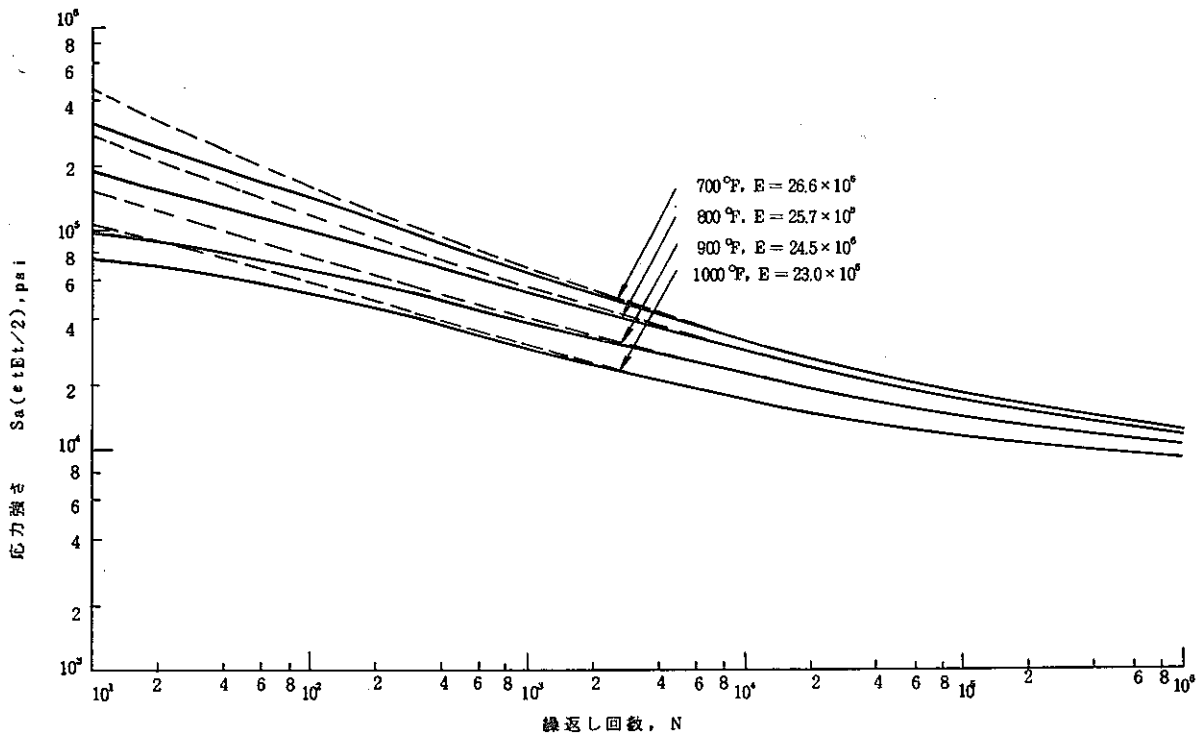
第 3 - 1 2 表 疲れとクリープの重ね合わせ

解析が必要なもの	計 算 式
<p>一種 容 器 一種 管</p>	<p>1. 弾性解析を行なう場合</p> $U_f = \sum \frac{n}{N_f} + R < 1$ $R = \frac{LN}{TD}$ <p> <math>U_f</math> : 疲れとクリープの累積損傷係数  <math>n</math> : 各荷重サイクル数  <math>N_f</math> : 最大許容繰返し数(第 3 - 32 図, 第 3 - 33 図参照)  <math>R</math> : クリープ損傷係数  <math>LN</math> : 全運転時間  <math>TD</math> : 設計温度での最小降伏応力に等しい                      応力で破断が生じるまでの時間で第 3 - 13 表, 第 3 - 34 図, 第 3 - 35 図,                      第 3 - 36 図により求められる。                 </p> <p>2. その他の場合</p> <p>他の適当な方法による。</p>

注) 1. 添付図表はナトリウムを考慮して定められたものである。



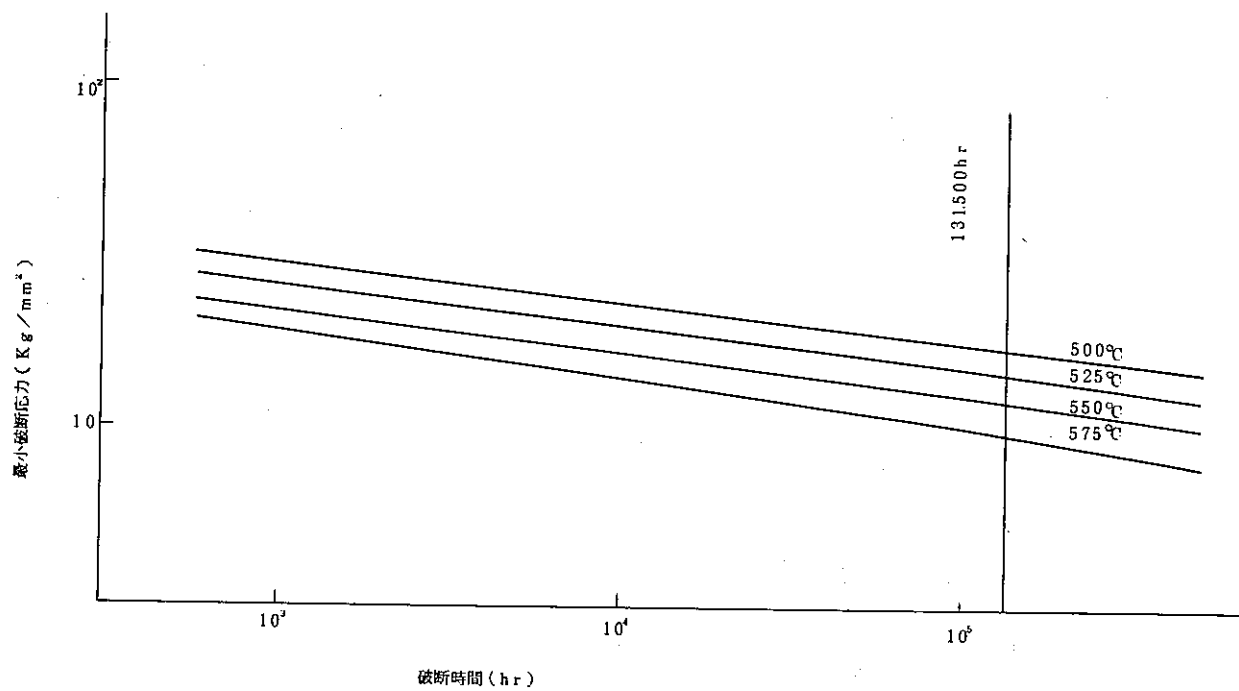
第 3 - 32 図 SUS 27 および SUS 32 の設計疲れ強さ  
 (平均応力について  $R = 0.5$  で修正)



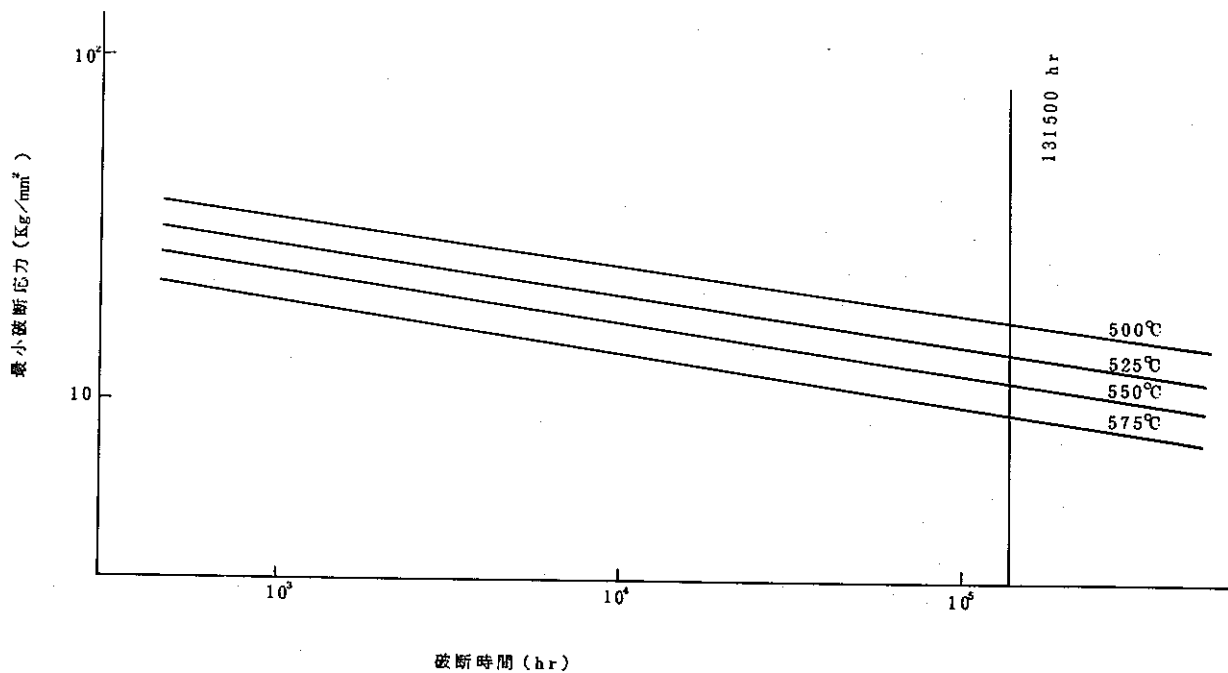
第 3 - 33 図  $2 \frac{1}{4}$  Cr-1 Mo 鋼の設計疲れ強さ  
 (平均応力について  $R = 0.5$  で修正)

第 3 - 13 表 SUS27, SUS32 及び  $2\frac{1}{4}\text{Cr} - 1\text{Mo}$  鋼の降伏強さ

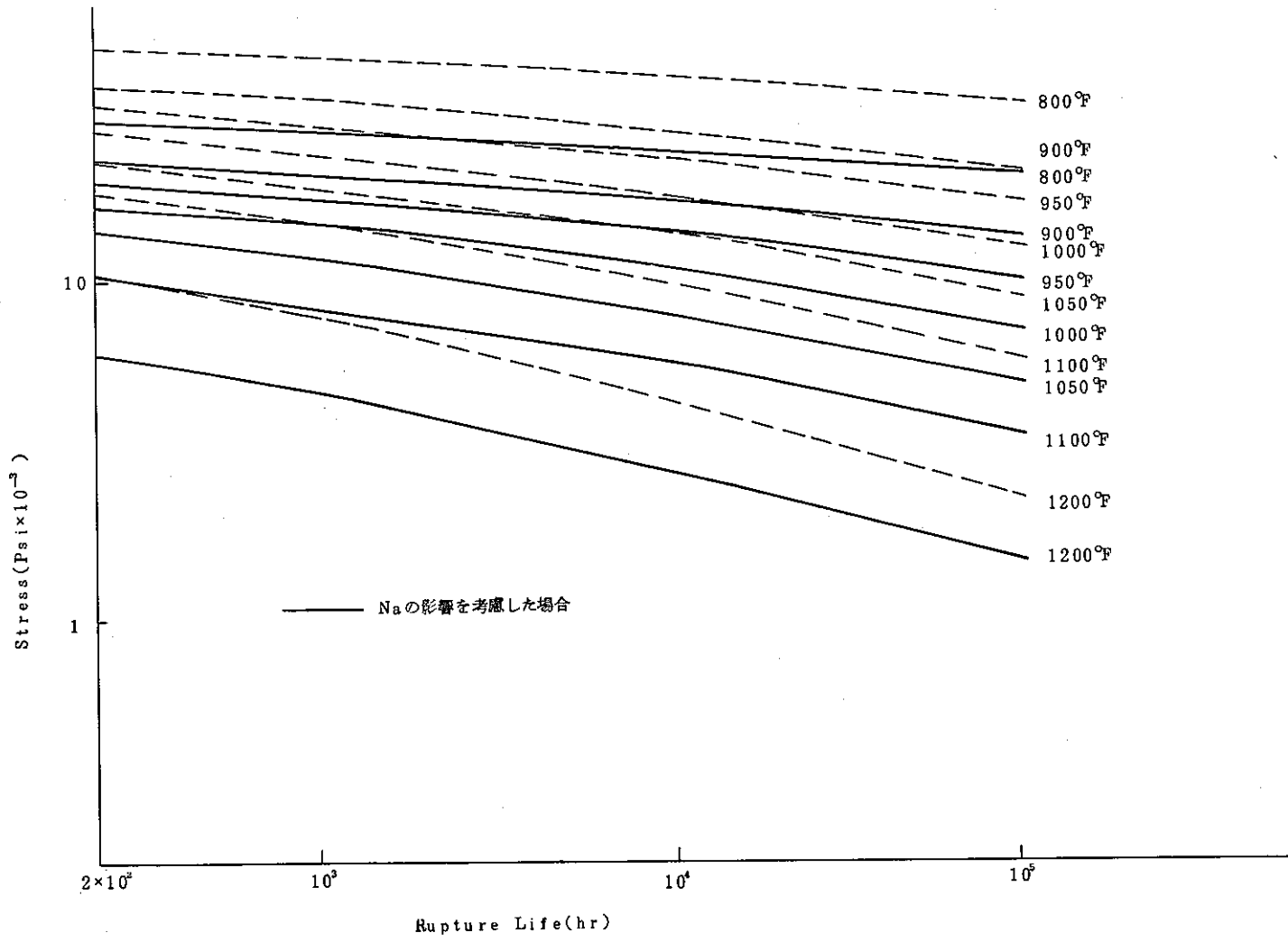
材 料 \ 温度℃	-30~ 40	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
S U S 27	21.0	18.8	17.4	15.8	14.7	13.8	13.1	12.6	12.2	11.7	11.3	10.8	10.3	9.9	9.3	8.4	7.0
S U S 32	21.0	19.1	18.0	16.4	15.2	14.2	13.5	12.9	12.5	12.3	12.1	11.9	11.6	11.4	10.8	10.3	9.4
$2\frac{1}{4}\text{Cr} - 1\text{Mo}$ 鋼	19.0	18.6	18.3	17.7	17.2	16.7	16.2	16.0	15.6	15.3	14.7	13.1	9.7	-	-	-	-



第3-34図 SUS27のラプチュア時間



第3-35図 SUS32の破断時間



第3-36図 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼のラプチュア時間

第 3 - 1 4 表 熱サイクル条件および熱過渡特性

通 常 状 態	位置 回数		主 冷 却 系 全 域																			
	現象	回数	温度変化 °C/hr		継続時間		温度 °C 条 件															
I	通常運転起動	250	50(0.0139°C/sec)		.		1次ナトリウム・ホットレグ 500~250															
	通常運転停止	250	-50(-0.0139°C/sec)		.		1次ナトリウム・コールドレグ 370~250															
	スクラム(調整棒一斉挿入を含む)後起動	500	50(0.0139°C/sec)		.		2次ナトリウム・ホットレグ 470~250 2次ナトリウム・コールドレグ 370~250															
異 常 状 態	位置 回数		1 次 系								2 次 系											
			1		2		3		4		5		6		7		8					
			炉心上部機構		炉心下部構造物		炉心入口プレナム		炉容器出口ノズル~ 1HX 1次側入口ノズル		1HX 1次側出口ノズル~ 炉容器入口ノズル		1HX 2次側出口ノズル~ 炉容器入口ノズル		冷却器Na側出口ノズル~ 1HX 2次側入口ノズル		冷却器空気側出口ノズル					
	異常現象		温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec				
IV	中性子束高	40	-83	25	0.8	30	0.6	30	-3	50	1	30	-2	60	1.7	25	7.5	15				
	電源喪失	100	-64	4.7	-0.1	30	-0.06	160	-1.3	75	-0.2	60	IHX -0.9	冷却器 -0.2	IHX 2.40	冷却器 4.40	IHX -3	冷却器 -0.8	IHX 5.5	2.10	1.5	20
	その他のスクラム・3 (シャット・ダウン)	155	-83	2.5	0.8	30	0.6	30	-3	50	1	30	-2	60	1.7	25	7.5	15				
	調整棒一斉挿入 <sup>*4</sup>	180	-83	2.5	0.8	30	0.6	30	-3	50	1	30	-2	60	1.7	25	7.5	15				
緊 急 状 態 (最 高 温 度)	位置 回数		1 次 系				2 次 系															
	異常現象		ホットレグ °C				コールドレグ °C															
	W	1次系1ループポンプ ステイック	10	502				370・5				470・5				342						
		1ループ1次・2次系の 同時ポンプトリップ	3	502				370・5				470・5				342						
		2次系1ループポンプ ステイック	10	500・5				470				496				388						
冷却器1ループ 全数停止		2	503				447				485				447							
損 傷 状 態	位置 回数		原 子 炉 容 器																			
			1		2		3		4		5											
			炉心上部機構		炉心下部構造物		炉心入口プレナム		炉容器出口ノズル~主中間 熱交換器		主中間熱交換器~炉容器出 口ノズル											
	異常現象		温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec	温度変化 °C/sec	継続時間 sec										
知	1次系1ループポンプステイックと2次系他ループ破断	1	3.6	34	0.15	567	0.63	240	0.03	500	0.87	138										

(注) \*1 表中の温度変化と原子炉の運転計画により定まる特定を時間  
 \*2 2次主循環ポンプに関しては異常現象の項目に就き-24°C/sec/69 secの温度変化率/継続時間とする。  
 \*3 炉周期短, 炉内ナトリウム液面低, 格納容器床放射線レベル高, 格納容器内温度高, 格納容器床圧力高, 格納容器床下圧力高, 地震, 手動イオンレーション, 手動等によるスクラムをいり。  
 \*4 原子炉入口冷却材温度高, 炉内ナトリウム液面高, オープン電機ポンプトリップ, 手動等による調整棒一斉挿入  
 \*5 ループの定格運転温度であり, 最高温度はこの値を越えない。



## (9) 開発試験研究の概要

「常陽」構成機器の機能性および耐久性確認のために、「常陽」建設と並行し、必要な開発試験研究がなされてきたが、これらの成果は当初予定された性能の確認だけにとどまらず、実際の運転操作に関する多くの有益な情報が得られている。

関連試験研究のあるものは「常陽」の先行耐久試験として現在もまだ運転中にあるが、これら試験研究の概要を第3-15表、第3-16表にまとめた。

第3-15表 開発試験研究

対象機器	R & D 項目	概要
1次主循環ポンプ 2次主循環ポンプ	特性試験	工場水試験およびNa試験により、Q-H特性、ポンプ負荷特性、ポンプ効率、キャビテーション特性、コスト・ダウン特性試験
	耐久試験	Na中にて、温度および回転数を「常陽」の運転モードを模似し、長時間連続運転を行ない、異常の有無を確認
ポンプ・メンテナンス キャスク	メンテナンス作業	ポンプ内部構造物の点検のため、メンテナンス・キャスクを用いNaの付着するポンプの洗浄・解体・検査・組立て作業の実施
中間熱交換器	特性試験	「常陽」の約 $1/50$ モデルのIHXにおけるNa-Na伝熱特性試験
	耐久試験	「常陽」の設計条件に対応する熱衝撃を与え、構造強度の健全性を確認
	材料試験	管板および伝熱管の長時間Na浸漬運転を行なった後、解体し各種材料試験を行ない、材料強度の健全性を確認
	水流動試験	「常陽」IHX(A,B)の約 $1/2$ モデルのIHXにおける水流動試験により、内部流速分布のパラメトリック・サーベイを行ない、構造設計の適性化
コールド・トラップ	性能確認試験	初期Na純化、長時間Na純化運転を実施し、所定のNa純度が得られることを確認
ベーパー・トラップ	性能確認試験	「常陽」1次系、2次系ベーパー・トラップと同一構造のモデルにおけるNa中運転により、Arガス系におけるNaベーパー補獲能力および再生起動操作の可能性を確認
Na サンプルング 装置	作業性確認試験	「常陽」1次系と同一構造のNaサンプルング装置により、作業性およびNa補獲状況の確認、放射線被曝評価
予熱ヒーター	性能確認試験	「常陽」と同一施行要領で取付られたヒーターによる昇温特性、温度分布特性、耐久性の確認
空気冷却器	伝熱特性試験	「常陽」と同一構造容量1MWの冷却器におけるNa-空気伝熱特性試験
電磁流量計	流量校正試験	「常陽」1次系、2次系に使用する電磁流量計のNaによる実流校正を行ない、測定精度の確認
逆止弁	性能確認試験	「常陽」と同一構造の逆止弁における、長時間Na中運転後のディスク作動試験

Na 隔離弁	性能確認試験	「常陽」と同一構造の Na 弁における，長時間 Na 中運転後の弁座締切性能試験
フェライト鋼機器	材料試験	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼を使用する機器および配管の母材および溶接部の長時間 Na 浸漬運転後，各種材料試験を行ない，材料強度の健全性を確認
炭素鋼機器	材料試験	SB 42 (STPT 42) 材を使用する機器および配管の母材および溶接部の長時間 Na 浸漬運転後，各種材料試験を行ない，材料強度の健全性を確認

第 3 - 1 6 表 関連試験研究

2次主循環ポンプ	渦巻込防止試験	「常陽」2次主ポンプ，上部リーク Na による渦巻を防止するための水流動試験を行ない，構造設計の適性化
主中間熱交換器	溶接施行法確認試験	「常陽」IHX，管と管板の溶接部における強度確認
フェライト鋼機器	溶接施行法確認試験	「常陽」2次系機器を構成するフェライト鋼材料の溶接部における強度確認
フェライト鋼および炭素鋼機器	防錆試験	各種防錆材の防錆効果比較および防錆剤除去作業の実施

## 第4章 工事・施工

原子炉冷却系統設備の工事は、つぎの法令等を準用して行なった。

通商産業省令第81号 電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令

通商産業省公益事業局長通達

昭和40年7月1日 40公局第579号

(昭和42年4月1日 42公局第151号改正)

溶接方法の認可について

### 4.1 工事方法の概要

溶接は通商産業省または科学技術庁の行なった溶接施行法確認試験により確認された溶接方法を用い、通商産業省または科学技術庁の技術検定に合格した溶接士により管理された状態において溶接施工を行い、その溶接箇所は非破壊検査ならびに本体付試験片による機械試験によって確認を行なった。製作中の管理は立会検査を中心に行ない、立会検査は原則として動燃が実施し、その中から重要なものを選んで科学技術庁が立会う方式をとった。

現地工事は、配管、機器据付に先立って、配管の支持装置が取付けられる埋込金物、建物の壁床を配管類が貫通するためのスリーブ、機器を据付けるアンカーボルト、ソールプレート等の埋込みが建物建築工事と平行して進められた。また格納容器内に設置される1次冷却系のダンプタンク、オーバフロタンク、原子炉付属建物内に設置される廃棄物処理系の廃ガスタンクは据付面である地下2階床面のコンクリート打設が終ったのち搬入可能時期をみつけて搬入した。その他格納容器、原子炉付属建物、主冷却建物の機器、配管据付工事は建築工事が機器搬入用ブロックアウト部、鉄板ライニング、仕切壁、塗装等仕上げ工事を除いてほぼ完了した状態から始められた。格納容器内は機器、配管が密集して設置される上、仕切壁を多く設けているため、また技術開発途上にあるもの特有の予期出来ない問題もあり、工程調整は困難を極めた。さらに「常陽」の冷却系Na配管は完成後水による洗浄を実施出来ないため、現地での機器、配管据付工事が進むにつれて、特に格納容器内雰囲気の清浄度が問題となり、配管内への異物侵入や、溶接に支障を来たすおそれが出て来たため、換気や配管、機器の開口部、溶接開先等の養生に努めた。これと関連して現地である程度、配管プレハブが終った時点で、ブローイングを実施し、内部の異物を最少限に押えた。現地では耐圧試験、ナトリウム機器に独特なヘリウム漏洩試験を実施したが、耐圧試験は設計圧力の違いから耐圧試験圧力が多岐にわたり試験回数が多くなった系統もある。「常陽」の設計は3回の概念設計、詳細設計を経て仕様が決定された。この仕様に基づいて機器、配管の製作が進められ、現地に据付けられたが、据付段階で各系統の設備や建物との干渉がかなり見られた。これらの調整、必要に応じて一部の設計変更も行なって来た。

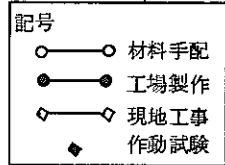
### 4.2 建設工程

冷却系統設備の材料発注から据付までの実績工程を第4-1表に示した。

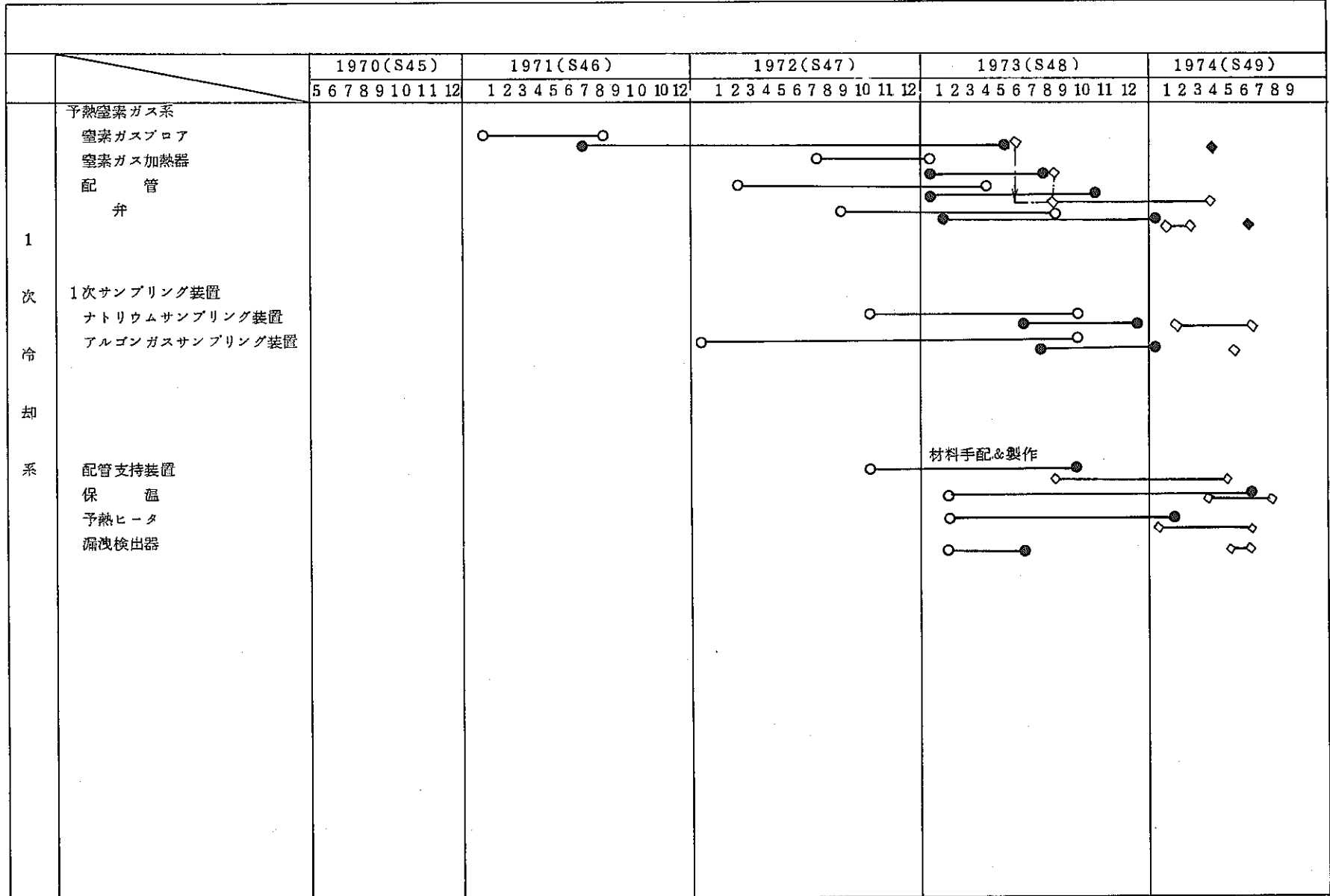
第4-1表 高速実験炉「常陽」冷却系機器および配管建設工程

S. 49.6 現在

		1970(S45)					1971(S46)					1972(S47)					1973(S48)					1974(S49)									
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	建家(埋込金物)																														
1 次 冷 却 系	1次主冷却系 主中間熱交換器(A) 主中間熱交換器(B) 主循環ポンプ 電磁流量計 配管 弁																														
	1次補助冷却系 補助中間熱交換器 電磁ポンプ 電磁流量計 配管 弁																														
	オーバーフロ系 オーバーフロタンク 電磁ポンプ 電磁流量計 配管 弁																														







		1970(S45)												1971(S46)												1972(S47)												1973(S48)												1974(S49)								
		5 6 7			8 9 10			11 12			1 2 3			4 5 6			7 8 9			10 11 12			1 2 3			4 5 6			7 8 9			10 11 12			1 2 3			4 5 6			7 8 9																	
2 次 冷 却 系	2次主冷却系																																																									
	主循環ポンプ																																																									
	主冷却器																																																									
	主送風機																																																									
	ダクト・ダンパ																																																									
	オーバフロータンク																																																									
	電磁流量計																																																									
	格納容器貫通部																																																									
	格納容器貫通部冷却装置																																																									
	配管																																																									
	2次補助冷却系																																																									
	循環ポンプ																																																									
	補助冷却器																																																									
	補助送風機																																																									
	ダクト・ダンパ																																																									
	膨張タンク																																																									
	ブラギング計																																																									
	格納容器貫通部																																																									
	配管																																																									
	弁																																																									
	2次ナトリウム充填ドレン系																																																									
	ダンプタンク																																																									
	格納容器貫通部																																																									
	配管																																																									
	弁																																																									







4.3 設計工事施工の所掌

第4-2表に示した。

第4-2表 設計工事施工所掌

系統	機器配管名	契約元	設計	製作	製作管理	据付
一次主冷却系	主中間熱交換器(A)	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	主中間熱交換器(B)	三菱重工業	三菱重工神戸	三菱重工神戸	三菱重工神戸	三菱重工神戸 および日本建設工業
	主循環ポンプ(A,B)	日立製作所	日立亀有工場	日立亀有工場	日立亀有工場	日立亀有工場 および日立プラント
	配管	"	日立工場	日立工場 東亜精機 日本弁管 東京螺旋新潟	日立工場	日立工場 および日立プラント
	逆止弁(A,B)	"	日立工場 および岡野バルブ	岡野バルブ 日本弁管	"	"
	電磁流量計	"	日立工場	日立工場	"	"
一次補助冷却系	補助中間熱交換器	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	電磁ポンプ	"	"	"	"	"
	電磁流量計	"	"	"	"	"
	配管	"	"	日立工場 日本弁管 東京螺旋新潟	"	"
	弁	"	日立工場 および東亜バルブ 岡野バルブ 岸川バルブ 日本弁管	"	"	
オーバフロー系	オーバフロータンク	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	電磁ポンプ	"	"	"	"	"
	電磁流量計	"	"	"	"	"
	配管	"	"	"	"	"
	弁	"	日立工場 および岸川バルブ 岡野バルブ	岸川バルブ 岡野バルブ	"	"
一次充填ドラム系	ダンプタンク	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	配管	"	"	日立工場 東京螺旋新潟	"	"
	弁	"	日立工場 および岸川バルブ	岸川バルブ	"	"

一次 ナトリウム 純化系	コールドトラップ	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	コールドトラップエコノマイザ	"	"	"	"	"
	ブラギング計	"	"	"	"	"
	ブラギング計エコノマイザ	"	"	"	"	"
	窒素ガスサージタンク	"	"	"	"	"
	窒素ガス冷却器	"	"	"	"	"
	冷却窒素ガスフロア	"	日立川崎工場	日立川崎工場	日立川崎工場	日立川崎工場 および日立プラント
	電磁ポンプ	"	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	電磁流量計	"	"	"	"	"
	ブラギング計電磁流量計 配管弁	"	"	"	"	"
			日立工場 および岡野バルブ 東亜バルブ 中北バルブ 岸川バルブ	岡野バルブ 東亜バルブ 中北バルブ 岸川バルブ		
一次 アルゴン ガス系	ポンプオーパフローコラム	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	ベータトラップ	"	"	"	"	"
	供給タンク	"	"	"	"	"
	低圧タンク	"	"	"	"	"
	呼吸ガス圧力調整ヘッド	"	"	"	"	"
	加圧ヘッド	"	"	"	"	"
	ポンプ軸シールガスアキュムレータ	"	"	"	"	"
	配管弁	"	"	"	"	"
			日立工場 および東亜バルブ 中北バルブ 岸川バルブ	東亜バルブ 中北バルブ 岸川バルブ		
真空ポンプ	"	大阪真空	大阪真空	"	"	
予熱窒素 ガス系	予熱窒素ガスフロア(A,B)	日立製作所	日立川崎工場	日立川崎工場	日立川崎工場	日立川崎工場 および日立プラント
	窒素ガス加熱器	"	日立工場	日立工場 (助川電気)	日立工場	日立工場 および日立プラント
	配管弁	"	"	日立工場	"	"
			日立工場 および岡野バルブ 東亜バルブ 中北バルブ 岸川バルブ	岡野バルブ 東亜バルブ 中北バルブ 岸川バルブ		
サンプリング 装置	1次ナトリウム サンプリング装置	日立製作所	日立工場	日立工場	日立工場	日立工場 および日立プラント
	1次アルゴンガス サンプリング装置	"	"	"	"	"
	2次ナトリウム サンプリング装置	三菱重工業	三菱重工神戸	三菱重工神戸	三菱重工神戸	三菱重工神戸 および日本建設工業

一次系共通機器	配管支持装置	日立製作所	日立工場 および三和テッキ	三和テッキ	日立工場	日立プラント
	保温 予熱ヒータ 漏洩検出器	"	日立工場 "	日本アスベスト 大同産業 助川電気	"	日本アスベスト 大同産業 日立工場
二次系 主冷却系	主循環ポンプ	三菱重工業	三菱重工高砂	三菱重工神戸 三菱重工高砂	三菱重工神戸 三菱重工高砂	三菱重工高砂 および日本建設工業
	主冷却器	"	三菱重工三原	三菱重工三原	三菱重工三原	三菱重工三原 および日本建設工業
	主送風機	"	中島製作所	中島製作所	三菱重工神戸	三菱重工神戸 および日本建設工業
	冷却器出入口ダンパ	"	山下製作所	山下製作所	"	"
	ダクト	"	山下製作所	山下製作所	"	"
	オーバーフロータンク	"	高田工業	高田工業	"	"
	電磁流量計	"	島津製作所	島津製作所 木村化工機	"	"
	格納容器貫通部	"	三菱重工神戸	三菱重工神戸 東京螺旋新潟	"	"
格納容器貫通部 冷却装置	"	日本ソールオール 瀬尾高田三田市	日本ソールオール 瀬尾高田三田市	"	"	
配管	"	三菱重工神戸	三菱重工神戸	"	"	
二次系 補助冷却系	循環ポンプ	三菱重工業	三菱電機長崎	三菱電機長崎	三菱電機長崎	三菱重工神戸 および日本建設工業
	補助冷却器	"	三菱重工三原	三菱重工三原	三菱重工三原	"
	補助送風機	"	中島製作所	中島製作所	三菱重工神戸	"
	冷却器出入口ダンパ	"	山下製作所	山下製作所	"	"
	ダクト	"	山下鉄工所	山下鉄工所	"	"
	膨張タンク	"	大江工業	大江工業	"	"
	ブラギング計	"	三菱原子力工業	三菱原子力工業	"	"
	電磁流量計	"	"	"	"	"
格納容器貫通部	"	三菱重工神戸	三菱重工神戸 東京螺旋新潟	"	"	
配管	"	"	三菱重工神戸	"	"	
弁	"	三菱重工神戸 および岸川バルブ	岸川バルブ	"	"	
二次系 充填トリウム系	ダンパタンク	三菱重工業	高田工業	高田工業	三菱重工神戸	高田工業 および日本建設工業
	格納容器貫通部	"	三菱重工神戸	三菱重工神戸 東京螺旋新潟	"	三菱重工神戸 および日本建設工業
	配管	"	"	三菱重工神戸	"	"
弁	"	三菱重工神戸 および岸川バルブ	岸川バルブ	"	"	
二次系 ナトリウム純化系	コールドトラップ	三菱重工業	三菱重工三原	三菱重工三原	三菱重工三原	三菱重工神戸 および日本建設工業
	コールドトラップ送風機	"	中島製作所	中島製作所	三菱重工神戸	
	ダクト&ダンパ	"	山下鉄工所	山下鉄工所	"	
	ブラギング計	"	三菱原子力工業	三菱原子力工業	"	
	電磁ポンプ	"	"	"	"	
電磁流量計	"	"	"	"		

	配管 弁	三菱重工業 "	三菱重工神戸 三菱重工神戸 および岸川バルブ	三菱重工神戸 岸川バルブ	三菱重工神戸 "	三菱重工神戸 および日本建設工業 "
二次アルゴンガス系	アルゴンガス系盤 ベーパーラップ 配管 弁 真空ポンプ	三菱重工業 " " " "	大阪酸素 高田工業 三菱重工神戸 三菱重工神戸 および日本オイル オイル 中北製作所 共栄バルブ 日本真空技術	大阪酸素 高田工業 三菱重工神戸 日本オイル オイル 中北製作所 共栄バルブ 日本真空技術	三菱重工神戸 " " " "	三菱重工神戸 および日本建設工業 " " " "
二次系共通機器	配管支持装置 保温 予熱ヒータ 漏洩検出器	三菱重工業 " " "	三菱重工神戸 および三和テッキ 三菱重工神戸 " 三菱電機 中央研究所	三和テッキ 日本保温 大同産業 三菱電機 中央研究所	三菱重工神戸 " " 三菱電機 中央研究所	日本建設工業 日本保温 大同産業 三菱電機
アルゴンガス 窒素 ガス供給 設備	液体 Ar 貯蔵 タンク Ar 送ガス気化器 Ar 操作盤 上記付属配管 Ar ガス供給タンク (TK-73-1) Ar ガス供給タンク (TK-73-2) Ar ガス供給タンク (TK-73-3) 上記付属配管	富士電機製造 " " " " " " "	川崎重工業 日本酸素 " " " 川崎重工業 " " " "	日本酸素 " " " 川崎重工業 " " " "	富士電機製造 川崎重工業 " " " 富士電機製造 " " " "	日本酸素 " " " 川崎重工業 " " " "
	液体 N <sub>2</sub> 貯蔵 タンク N <sub>2</sub> 送ガス気化器 N <sub>2</sub> 操作盤 上記付属配管 N <sub>2</sub> ガス供給ヘッダ (TK-74-1) N <sub>2</sub> ガス供給ヘッダ (TK-74-2) N <sub>2</sub> ガス供給ヘッダ (TK-74-3) 上記付属配管	富士電機製造 " " " " " " "	川崎重工業 日本酸素 " " " 川崎重工業 " " " "	日本酸素 " " " 川崎重工業 " " " "	富士電機製造 川崎重工業 " " " 富士電機製造 " " " "	日本酸素 " " " 川崎重工業 " " " "
	隔離弁類 その他弁類	富士電機製造 "	川崎重工業 大野ペロー 川崎重工業 富士金属 平田弁 新潟ウオシントン 東洋高圧	大野ペロー 富士金属 平田弁 新潟ウオシントン 東洋高圧	富士電機製造 川崎重工業 富士電機製造 川崎重工業	川崎重工業 川崎重工業

## 第5章 試験検査

高速実験炉「常陽」の冷却系統施設の試験検査は、次の法令等を準用し、さらに冷却材である液体金属ナトリウムの特殊性を考慮して設定した基準に基づいて試験検査を行なった。

通商産業省令 第81号 電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令  
通商産業省告示 第501号 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準

### 5.1 試験検査の概要

工事工程に従い、次の各項目の試験検査を行なった。

- (1) 材料試験
- (2) 溶接部試験
- (3) 耐圧、漏洩試験
- (4) 外観、寸法検査
- (5) 工場完成試験
- (6) 現地据付試験

### 5.2 試験検査項目

#### (1) 材料試験

材料試験は化学分析試験、機械試験および非破壊試験よりなり、通産省告示501号に規定されている化学成分および機械的強度の確認ならびに一種容器および一種管については、さらに材料の健全性確認のために非破壊試験を行なった。

材料の管理は、刻印または薄肉材料についてはラベルにて行なった。

#### (2) 溶接部試験

溶接部試験は、開先寸法検査、非破壊試験および機械試験よりなり、開先寸法検査は、溶接部欠陥発生防止のための一つの検査方法であり、この検査は耐圧部および取付物について全て行なった。非破壊試験および機械試験は通産省令第81号に従いがい検査を行なった。ただしナトリウムを内包する機器、配管等については通産省基準をとわず全て検査対象とし、弾性限界を越える部分については、判定基準を厳しくした。

#### (3) 耐圧、漏洩試験

耐圧、漏洩試験は、通産省令第81号に従いがい試験を行なった。ただしナトリウムを内包する機器配管については、気圧試験とし、さらにヘリウム漏洩試験を行ない、1溶接線当たりの漏洩量が常温において  $1 \times 10^{-6}$  Acc/sec 以下であることの確認を行なった。

(4) 外観・寸法検査

外観寸法検査は、各機器および配管等の完成後、目視により外観検査を行ない、主要外形寸法の測定、各継手位置、方向の確認を行なった。

(5) 工場完成検査

ポンプ、送風機および弁等は工場にて J I S 規定に基づく作動性能試験を行なった。

(6) 現地据付試験

現地据付完了後異常なく作動することを確認すると同時に電気計装関係のシーケンス、インタロック等が正常に働くことを確認する試験を行なった。

5.3 実施範囲

第 5 - 1 表に示す実施範囲によった。

第 5 - 1 表 素材および溶接検査実施範囲

	素 材 検 査							開 先 検 査			溶 接 後 非 破 壊 試 験			機 械 試 験	耐 圧 漏 洩 試 験	ヘ リ ウ ム 漏 洩 試 験	外 観 寸 法 検 査	備 考		
	化学成分 確 認	P T or M T	U T	R T	機 械 試 験	耐 圧 漏 洩 試 験	外 観 寸 法 検 査	P T or M T	寸 法 検 査	厚 1/3 層	P T or M T	U T	R T							
第一種容器・第一種管	耐 圧 部	棒	○	◎	-		-												1) 管、容器の分類はシールバウンダリーに適用する。 2) 表中の記号は次の意味である。 ◎： 動燃立会を原則とする。 ○： 動燃立会を重要な機器について行なり。 △： メーカー自主検査 -： 適用せず 3) 化学成分確認とはミルシート照合を意味する。 4) 取付物とは、耐圧部に直接溶接にて取付けられるラグ、ブラケット類をいう。 5) Na 溶液には Na 蒸気雰囲気を含める。 6) 循環ポンプは容器として分類する。重要な弁については管に分類する。 7) 鋳造品について RT、PT を行なうものについては全て RT を行なう	
		板	◎	◎	-		-													
		管	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
		鋳造品	◎	-	◎		-													
		鍛造品	◎	◎	-		-													
	取付物 強度部材	棒	◎	◎	-		-													
		板	◎	◎	-		-													
		管	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	◎	◎	◎		
		鋳造品	◎	-	◎		-													
		鍛造品	◎	◎	-		-													
第一種管	取付物非強度部材	○	-	-	-	△	-	◎	◎	◎	◎	-	-	-	◎	-	◎			
	内部構造物	○	-	-	-	△	-	◎	△	△	△	◎	-	-	-	-	◎			
第二種管	耐 圧 部 材	○	-	-	-	△	-	◎	◎	◎	◎	◎	-	◎	◎	-	◎			
	取 付 物	○	-	-	-	△	-	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	◎	-	◎			
第三種容器・第二種管	耐 圧 部 (Na 接液)	○	◎ <sup>7)</sup>	-	◎ <sup>7)</sup>	△	-	◎	◎	◎	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎			
	耐 圧 部 (Na 非接液)	○	-	-	-	△	-	◎	◎	○	○	◎	-	◎	◎	-	◎			
	取 付 物	Na 機器	○	-	-	-	△	-	◎	◎	◎	-	-	-	-	◎	◎	◎		
		非 Na 重要	○	-	-	-	△	-	◎	○	○	-	-	-	-	◎	-	◎		
		非 Na 非重要	△	-	-	-	△	-	△	-	-	-	△	-	-	◎	-	◎		
内部構造物	△	-	-	-	△	-	△	-	-	-	△	-	-	-	-	-	◎			
第四種容器	耐 圧 部	○	-	-	-	△	-	○	-	-	-	○	-	-	◎	◎	-	◎		
	取 付 物	△	-	-	-	△	-	△	-	-	-	○	-	-	-	◎	-	◎		
	内部構造物	△	-	-	-	△	-	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎		
管・容器の区分に含まれず特に重要なもの		○	-	-	-	△	-	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	◎		
管・容器の区分に含まれず重要なもの		○	-	-	-	△	-	○	△	△	△	○	-	-	-	-	-	◎		
原子炉付属設備	第一種容器、第二種容器、第一種管に付帯	△	-	-	-	△	-	△	-	-	-	△	-	-	-	-	-	◎		
	第三種容器、第四種容器、第二種管、第三種管に付帯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○		



## 第6章 建設中の問題点

「常陽」の建設において設計から工認申請、機器製作、検査、現地工事と各段階を通じて発生した問題点を以下に要約した。

### 6.1 設計から工事認可の申請までの問題

#### (1) 少数精鋭で実施

「常陽」の安全審査が終り、機器の設計が開始されたのは動燃事業団発足の3年後であった。このため研究機関、電力、メーカーの協力により優秀な人材を集めたとはいえ、例えば初期の冷却系担当は4人、最盛期においても廃棄物系、メンテナンス設備担当を含めて12人というように十分な人数ではなかった。この少人数で本来業務である技術検討、官庁申請、製作、立会検査、据付工事管理などの他に我国最初の技術開発プラントであることによる特殊性、例えばナトリウム技術部での研究開発の即時反映、設計、検査基準の作成、契約時予想できないため不明確にしておいた事項の処理など多大の問題を処理せざるを得なかった。他のプラントに比較し数分の一の人数でやり遂げたことになるが、技術的にもさらに検討すべき余地は残されている。

#### (2) 高速炉用に確固たる設計基準がなかった。

「常陽」の設計は各メーカーとの間で通商産業省告示第501号「発電用原子炉設備に関する構造等の技術基準」を準用することで契約していた。この基準は軽水炉用に設定された基準であり、低温高圧の機器の設計には適しているが、高温、低圧であるナトリウム冷却高速実験炉「常陽」のナトリウム機器の設計には不十分であると専門家検討会での指摘があり、クリープ等を考慮した基準であるASME-III-1331-4をもとに、「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針を作成し、ナトリウム機器、配管の設計を実施してきた。この指針の作成遅れおよび適用にあたって各メーカーとの間にいくらかのトラブルが避けられなかったが、これも技術開発においてはやむをえない事項であろう。

この指針は不十分ながら、最もトラブルを起しやすいポンプとバルブにもふれているのは特筆されてよいであろう。

なお、その他の機器、配管は通商産業省告示第501号によったことを付記する。

#### (3) 研究開発の反映

我国の高速炉の開発は欧米先進国に約10年遅れてスタートしており、欧米先進国に追いつき、追越せとの動燃事業団の方針から、「常陽」の建設は、フランス、イギリス、アメリカのように研究開発が終ってから実験炉の建設に入ったのではなく、研究開発と並行してやってきた。このため関連研究の情報、結果をその都度反映させて行く必要があり、設計途上あるいは製作中の設計変更もやむを得ず、建設工程への影響も生じた。しかし、工程の遅れは

あったとはいえ高速実験炉の完成時期において約5年の短縮になっていることは評価されてよいであろう。

#### (4) 不明確事項，新たに開発を要した事項

「常陽」の設計開始前に予想された問題点に関しては研究開発，設計コードの開発などを進めていたが，技術開発途上であるが故の予想されない問題点が多数発生した。例えば2重管の設計方法，バルブのベローの設計方法など処理に困ったものや，モデルがないことによる設計上見落していた事項等である。

これらは官庁，各メーカーの協力と担当者の努力によりその都度処理してきたが，近い将来動燃事業団が建設する高速原型炉「もんじゅ」へ反映できることを考えれば大きな成果であった。

#### (5) 対官庁関係での問題

「常陽」は実験炉であり，主規制官庁が他の実験炉と同様科学技術庁であることから，動燃事業団は申請等においては他の実験炉並みと考えていた。これに対し科学技術庁よりプラントの大きさ，困難さ及び「常陽」は発電炉につながることからみて通商産業省方式を採用するとの指示があり，動燃事業団にこれらに関し，精通した者がいないこともあって，申請方式の不統一，基準の作成遅れなどがあり混乱を起した。

科学技術庁の指導により順次整備されてきたが，軌道にのつたのは工事認可申請も半ばを過ぎた時点であったことは反省しなければならない。

通商産業省と異なる点は工事認可申請書に溶接認可を含めたことで，動燃事業団内で処理しきれない程の業務量となった。通商産業省のように分離し，工事認可はユーザー，溶接認可はメーカーとすべきであった。

## 6.2 検査関係の問題

### (1) ナトリウム冷却高速増殖炉に適した検査基準がなかった。

「電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令」(通産81号)，「発電用原子炉設備に関する構造等の技術基準を定めた件」(通産501号)，〔以下「MITI基準」と略称する〕は軽水炉を対象に定められたものであり，そのまま高速炉に適用するには十分なものとはいえず，同基準を基にASME code および動燃が実施してきたナトリウム技術開発での経験を加味して高速実験炉「常陽」溶接検査基準を作成した。この基準は従来の軽水炉に適用されたものに比較して，かなり厳密な試験検査を義務づけたものであるが，基準の設定が契約時期よりおくれ，下請メーカーにまで徹底するのに時間がかかったこと等，メーカーの品質管理，検査の体制が適応出来なかったため，検査実施のおくれ，ひいては製造工程遅延の要因ともなった。

## (2) 検査員の不足

前述したようにすべての検査を動燃で負ったため、膨大な検査量をかかえたこと、検査グループを編成するだけの人的余裕もなく技術的な検討、工認申請業務、建設工事管理と平行しての作業となり、要員の不足をきたした。また、ナトリウム冷却高速増殖炉としての検査基準による検査を遂行するために全員が検査員としての知識と能力が要求され、そのための育成も必要となった。今後は外部検査機関を利用するとか、検査グループを設けられるだけの要員計画をしておく等の考慮が必要であろう。

## (3) ナトリウム接液であることから起因する問題

## i) 溶接部非破壊検査

高速増殖炉は高温低圧系であり、熱衝撃を考慮する点からも比較的使用板厚が薄いこと、ナトリウムに接することから液体浸透探傷試験、磁粉探傷試験の判定基準を MITI 基準の 4.5 mm の指示までに対し、当初は無欠陥を基準とし、後に 1 mm の指示までと定めて実施したが、法的根拠のないこともあって各社にこの基準を浸透させるのに時間を要した。

## ii) ヘリウム漏洩試験

ナトリウムは高温において著しく活性を有し、漏洩発生は火災事故に結びつき、また補修が困難であることから、ナトリウム接液機器、配管については全てヘリウム漏洩試験を義務づけた。配管類は加圧積分法による試験を行なったが、機器類については信頼性の観点から原則として真空法によるものとしたが、メーカーにほとんど経験がなかったこと等から特に大容量容器のヘリウム漏洩試験実施に際し、幾多の困難に遭遇した。

## 6.3 建設工事上の問題

## (1) 建設工程のおくれ

「常陽」の建設に際し、開発要素が大であるという理由から契約納期が目標納期となった。特に契約先が 4 社、建物側 1 社と計 5 社におよび、1 社の遅れが他社に及ぼす波及効果は大きく、工程の組替え調整に苦勞するとともに、全般的な工程遅延となった。工程遅れは 1 社にとどまらず各社何らかの遅れを生じた。

## (2) 埋込金物施設上の問題

建物の床、壁、天井に機器、配管類の支持用の埋込金物が多く設置されたが、各社が各機器、各配管支持点毎に個々に設置したため、建物側の工事ステップ毎に各埋込金物の配置調整が必要となり、その作業に多大の時間を要するとともに、特に小型金物が数多く設置された場所では設置もれ、位置不良も発生し、さらに配管類施設時に相互干渉もかなり発生した。各社の機器配管類が多く施設される区域には各支持点毎に金物を埋没するより、建物側にて

予め一定間隔に長尺の埋込金物、あるいは大型の共通板埋込みを行なう方法を考えるべきであらう。

(3) 工事用クレーンの問題

格納容器内では特に各社入り乱れての作業となり、本設のポーラクレーンが設置されてからはこのクレーンが各社にて使用されたが、クレーンの使用が律速となって工事工程が影響を受けた場合が多々にあった。しかし、本設のポーラクレーンは工事用としては移動速度がおそく、これが律速となっていたことを考えれば全体建設工程の観点から工事を考慮してクレーン速度を早いものにしておけば得策であったといえる。

(4) 周辺設備の施工時期の問題

電気ケーブル、廃液トレンチ等共同溝の施設、周辺道路の整備等建物廻りの整備時期が機器類搬入の最盛期に重なったため、仮設陸橋の設置等工程的に苦しい状態となった。全体工程を考案する際に初期に施工完了するよう考慮しておくべきであらう。