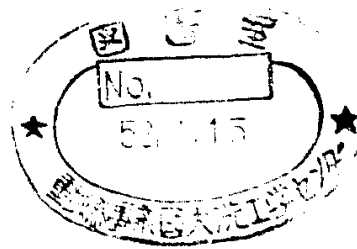


高速実験炉「常陽」運転試験報告書

補助冷却系統運転実績



1983年2月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

高速実験炉「常陽」運転試験報告書

補助冷却系統運転実績

片山 高* 吉川 進* 山下 芳興*
石岡 克浩**

要 旨

高速実験炉「常陽」の補助冷却系統について、昭和52年1月から昭和56年12月までのMK-I炉心の運転実績を報告する。主な運転実績は次のとおりである。

- (1) 1次補助冷却系統は大きな故障もなく良好な運転実績が得られた。

定検等で主系統での炉心崩壊熱が除去できない際に1次補助冷却系統が運転された時間は約530時間であった。

1次補助循環ポンプが自動起動したのは6回であった。その内5回は、各種試験による計画的なものであった。他の1件は昭和56年7月26日にオーバフローポンプトリップによる炉容器液面低低で自動起動した。しかし主冷却系統での炉心冷却が可能であったため、補助冷却系統の冷却運転には至らなかった。

- (2) 2次補助冷却系統は100%流量で約39,140時間運転されその間2次補助循環ポンプは4回トリップしている。その原因は外部電源喪失によるもので、系統には問題なかった。

その他、系統内の故障件数は1次補助冷却系統と比べ多少多かったが、それを原因として系統の運転を停止するような重大な故障はなかった。2次補助冷却系統も概ね良好な運転実績が得られた。

* 高速実験炉部原子炉第一課

** 現関西電力(株)

Experimental Fast Reactor "JOYO" Operation Test
Operation History of Auxiliary Core Cooling System

T. Katayama,* S. Kikkawa,*
Y. Yamashita*, K. Ishioka,**

Abstract

Experimental Fast Reactor "JOYO" completed its 75MWt power operation with the Mark-I core (breeding core) in Dec., 1981. The Auxiliary Core Cooling System (ACCS) has been operated satisfactorily since the first sodium charge in Jan., 1977. This paper describes the operation history until the end of Mark-I Operation.

- (1) Accumulated operation time of Primary Auxiliary Cooling System with circulating pump on during outages for annual inspection or others was only 530 hours, while the rest being occupied by the counterflow from main circulating pumps. Auxiliary circulating pump experienced the automatical start only when the reactor scrammed and reactor sodium level lowered because of the failure of overflow make-up pump in July, 1981.
- (2) Secondary auxiliary cooling system had been operated approximately 39,140 hours in full flow rate, meanwhile circulating pump failed 4 times because of power loss.

* Operation Section, Experimental Fast Reactor Division.

** Present Affiliation; KANSAI Electric Power Co. LTD.

目 次

1. 緒 言	1
2. 系統の概要	2
2-1 1次補助冷却系統の構成	4
2-2 1次補助冷却系統の運転	7
2-3 1次補助冷却系統に関する運転制限	7
2-4 2次補助冷却系統の構成	9
2-5 2次補助冷却系統の運転	14
3. 系統運転実績	15
3-1 1次補助冷却系統の運転実績	15
3-2 1次補助冷却系統の修理依頼状況	15
3-3 2次補助冷却系統の運転実績	16
3-4 2次補助冷却系統の修理依頼状況	16
3-5 設備改造について	19
3-6 補助系自動起動の経験	19
4. 補助循環ポンプ運転実績	22
4-1 1次補助循環ポンプ運転実績	22
4-2 2次補助循環ポンプ運転実績	22
4-3 2次補助循環ポンプ運転特性	29
5. 問題点と対策	36
6. 結 言	37
7. 参 考 文 献	38
8. 参 考 図 面 集	39

1. 結 言

高速実験炉「常陽」の補助冷却系統はA、B二つの主冷却系統をバックアップする非常用炉心冷却設備として設けられた。主冷却系統の運転不能の場合や同系統のナトリウムドレンの際に炉心崩壊熱除去ができるように冷却ループが構成されている。昭和51年の冷却材ナトリウムの初充てん以来、補助冷却系統はほとんど待機運転をしてきた。すなわち主冷却系統の運転中、1次側は原子炉容器高圧プレナムから逆止弁バイパスオリフィスを通して待機中の補助循環ポンプ（電磁ポンプ）および補助中間熱交換器へ逆流し再び炉容器へ戻る逆流状態となっている。また補助中間熱交換器を介して接する2次側は補助循環ポンプが100%定格運転されるが、補助冷却器は送風機自動待機の状態ではほぼ400℃（温態待機時250℃）に保たれている。

主循環ポンプは主モータの故障の際ポニーモータにより継続運転され原子炉の崩壊熱除去を行なうが、主冷却系統のナトリウム液面が低下し過ぎると主中間熱交換器のナトリウムの流れが疎外され冷却運転が不可能となる。そこで炉心の冷却は炉容器出入口配管が炉容器内へ入り込んでいる第三のループ補助冷却系統が受け持つことになる。1次、2次補助循環ポンプおよび補助送風機がすべて運転された状態での同冷却系統の運転は昭和56年7月の原子炉スクラム後に経験したが、それ以外は各機が単独にプラント状態に合わせて運転されたりあるいは機能試験等のために運転されてきた。

ポンプが回転部のない電磁ポンプであることや補助送風機は絶対的に運転時間が短いことなどから同系統設備は計器等のマイナーな不具合を除いて問題なく運転経験を得ている。本報告書では同系統の概要を紹介し、昭和56年12月の75 MW運転終了までの各機器の運転実績についてまとめ今後の資料とするものである。

2. 系 統 の 概 要

補助冷却系統は前述のように主冷却系統での炉心の冷却ができなくなった場合や、冷却材の漏洩または炉内検査の際の低液面時に炉心崩壊熱の除去が必要な場合に運転される非常用炉心冷却系統である。同系統は原子炉容器と補助中間熱交換器を結ぶ1次補助冷却系と補助中間熱交換器を通して伝えられた熱を最終的に補助冷却器にて大気に放散する2次補助冷却系とによって構成される。(図2-1参照)

1次補助冷却系の冷却材ナトリウムは原子炉容器を通して1次主冷却系と共有のものであるが、自由液面がないため主冷却系ループが全てドレンされても原子炉容器との間に冷却材流れを保つことができる。一方、2次補助冷却系の冷却材ナトリウムも2次主冷却系と共通のものであるが弁操作により2次主冷却系との系統分離が即座に行なえるようになっている。このように配管や機器の配置により冷却材を確保し原子炉容器内の燃料集合体が冷却材下であれば1次主配管の大きな破断があってもその崩壊熱除去を行なえるのが同系統の特徴である。

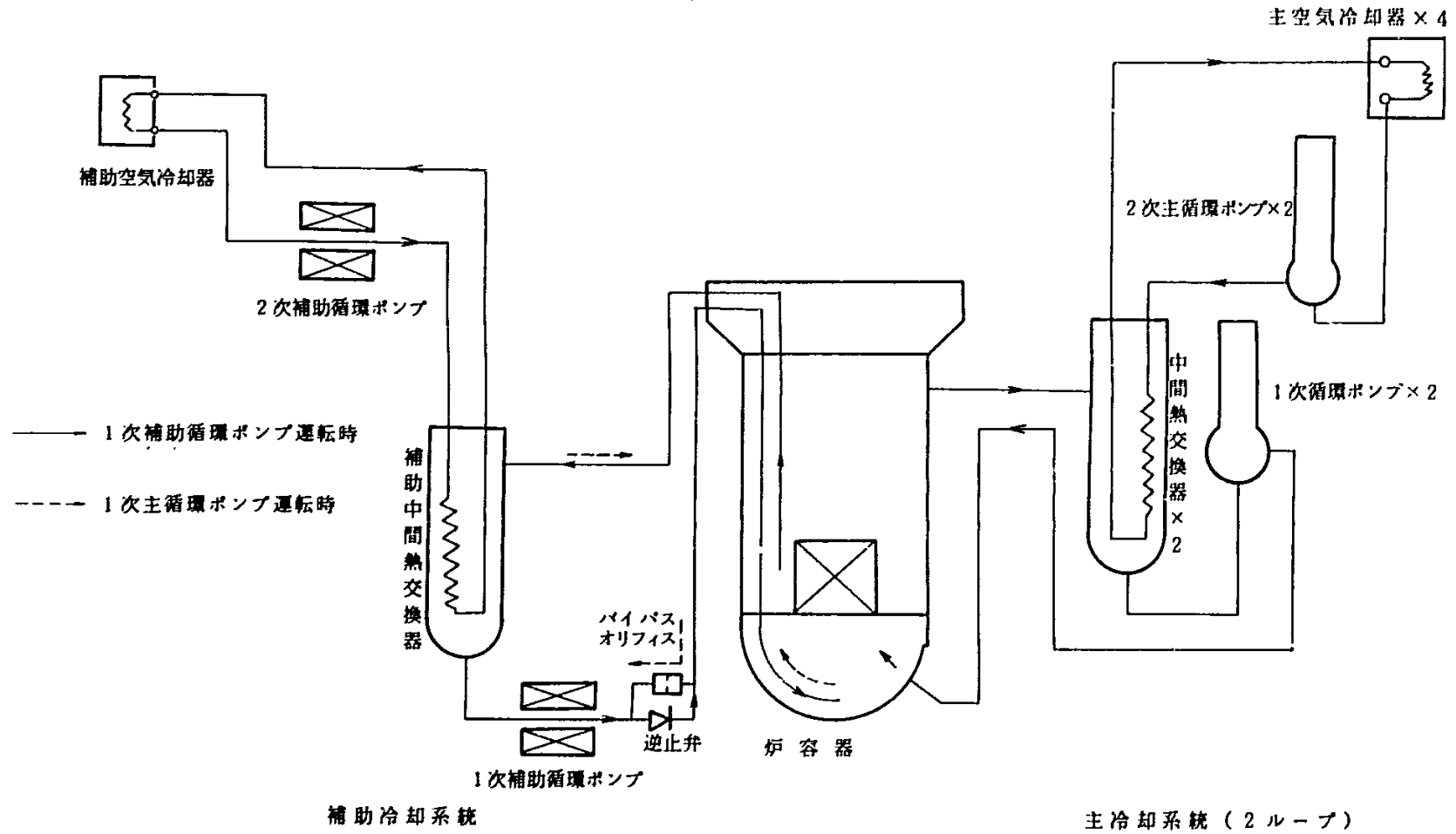


図 2-1 補助冷却系統の概念図

2-1 1次補助冷却系統の構成

1次補助冷却系統は、次の各部より構成される。

- (1) 補助中間熱交換器
- (2) 1次補助冷却系循環ポンプ
- (3) 1次補助電磁流量計
- (4) 1次補助冷却系配管および弁類
- (5) サイフォンブレイク弁 (×4)

1次補助冷却系統は使用状態において、冷却材である液体金属ナトリウムを原子炉容器から補助中間熱交換器へ循環させ炉心の崩壊熱を除去するが、その主要目は次のとおりである。各機器の主要目は表2-1に示す。

ループ数	1
冷却容量	2.6 MW
冷却材流量	56.5 t/h
定格温度	原子炉入口 370℃
	原子炉出口 500℃

1次補助冷却系系統図を図2-2に示す。

表 2-1 1次補助冷却系統主要目

(1) 補助中間熱交換器		
形 式		たて置シェルアンドチューブ形
数 量		1 基
材 質		SUS304
(2) 1次補助循環ポンプ		
形 式		2重壁フラットリニアインダクション式
数 量		1 基
流 量		定 格 56.5 t/h
揚 程		18 mNa (56.5 t/h, 370℃)
材 質		SUS304
(3) 流 量 計		
形 式		永久磁石式
数 量		1 基
流量測定範囲		-30 ~ +80 m ³ /h
信号出力		約4 mV (流量約60 t/h時)
材 質		SUS304
(4) 配 管		
形 式		2重管
材 質		SUS 304 HTP
(5) 弁		
形式(止 弁)		ベローズシール玉形弁
(逆止弁)		スウィングチェック弁
数量(止 弁)		6 個
(逆止弁)		1 個
材質		SUS304相当材
(6) オリフィス		
形 式		2段薄刃オリフィス
数 量		1 個
材 質		SUS 304 CP

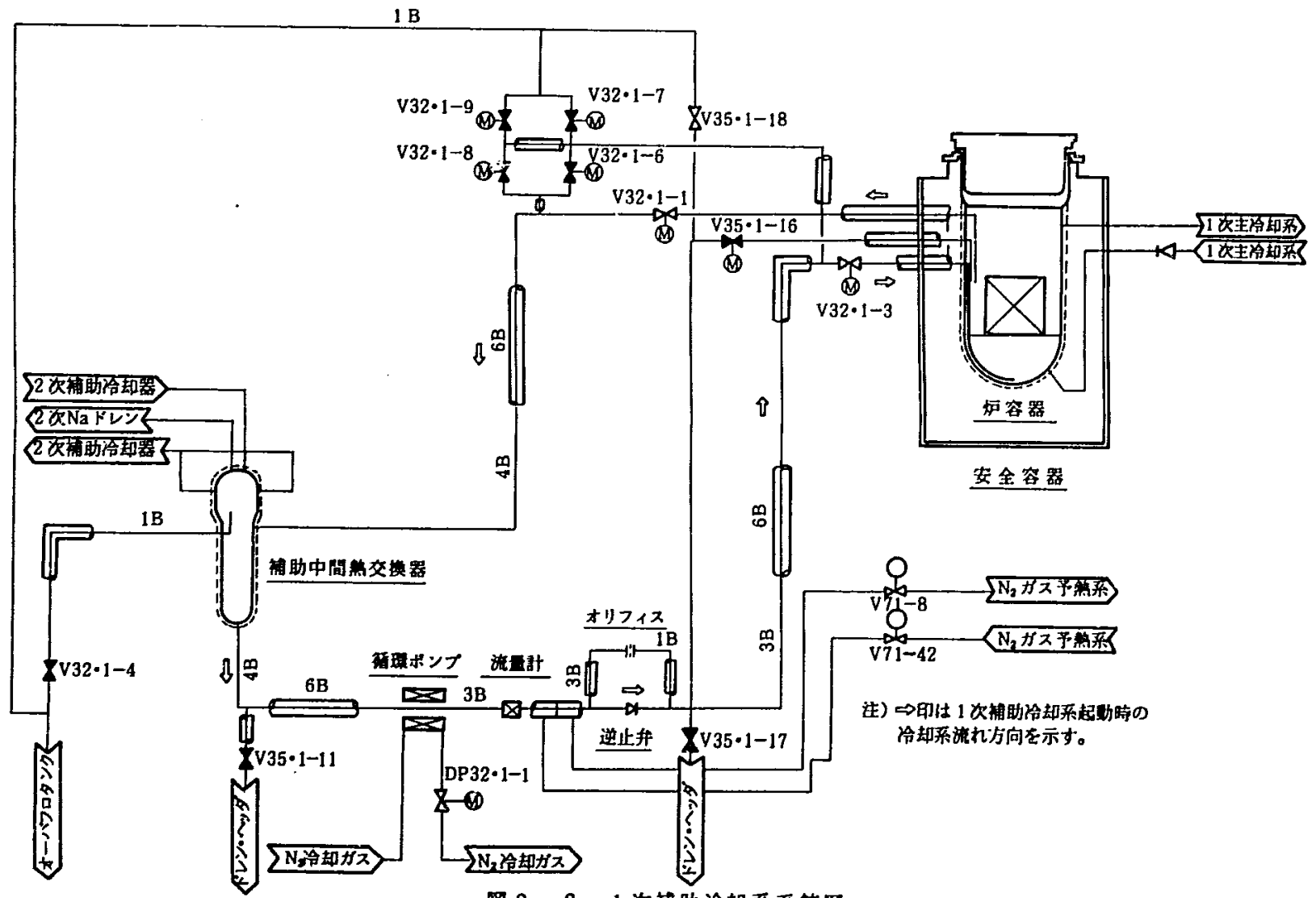


図 2 - 2 1次補助冷却系系統図

注) ⇒印は1次補助冷却系起動時の冷却系流れ方向を示す。

2-2 1次補助冷却系統の運転

原子炉通常運転時には炉心の熱除去は主系統によって行ない、1次補助冷却系統は循環ポンプ停止状態で冷却材は原子炉容器高圧プレナムより押し込まれて原子炉容器上部プレナムへ戻る方向へ定格流量の約30%で単に逆流している(75 MW炉心の場合)。

1次補助循環ポンプの自動起動(補助系自動起動)条件の概略はAおよびBの1次主循環ポンプ回転数低(130 rpm以下)の時、次の(1)または(2)の状態になった場合である。

- (1) AまたはBのポニーモータトリップ
- (2) 炉容器液面低低 — 320 mm以下

2-3 1次補助冷却系統に関する運転制限

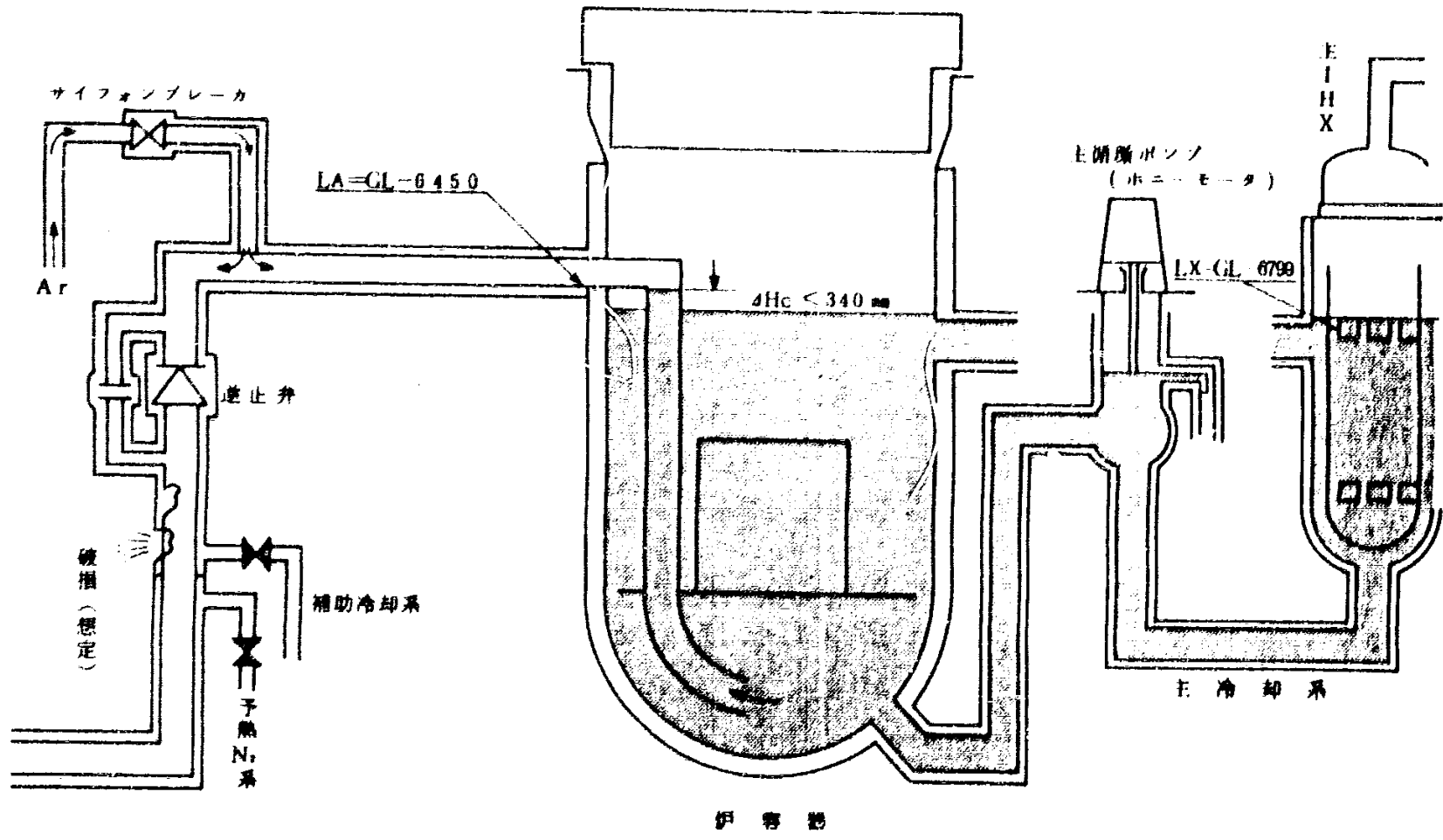
1次補助冷却系配管において、配管破損によるNa漏洩が生じた場合、原子炉は停止され、以後の炉心冷却はポニーモータで主ポンプを駆動して行なうが、この時補助系のサイフォンブレイカ部での圧力が高くポニーモータ2台運転時には、サイフォンブレイクできない可能性がある。このためポニーモータ1台で炉心の冷却能力を確保するとともに補助系にかかる主ポンプの吐出圧力を低下させる必要がある。そのためにポニーモータ回転数は次の条件を満足しなければならない。

- (1) 炉心圧損は、補助系入口管炉容器貫通部レベルと炉容器内ポニーモータ運転可能最低液面(図2-3参照)の差より小さいこと($\Delta P \leq 340 \text{ mmHa}$)
- (2) 炉心流量が定格の7%以上であること。(MK-II炉心5%)

以上の条件を満足させるために、現在ポニーモータ回転数を130 rpmに設定してある。

しかし今後MK-II炉心へ移行が完了すると、炉心圧損が上昇し補助系にかかる吐出圧力が増し、サイフォンブレイクできない可能性がでてくるためMK-II炉心へ移行完了時点でポニーモータ回転数を再調整する予定である。

その他、昭和56年に実施された自然循環試験にて得られた結果によると、75 MW運転停止後、自然循環にて炉心の崩壊熱除去は可能であることがわかった。しかし自然循環中に補助冷却系が自動起動すると自然循環のさまたげになることもわかり、今後その運用について検討中である。



- 8 -

図2-3 補助冷却系内外管破損時 (サイフォンブレーカ作動時)

2-4 2次補助冷却系統の構成

2次補助冷却系統は次の各部より構成される。各機器の主要目を表2-2(1)~(3)に示す。

- (1) 2次補助冷却系循環ポンプ
- (2) 2次補助空気冷却器
- (3) 膨張タンク
- (4) 配管および弁類
- (5) 補助ブラッキング計ユニット
- (6) 流量計

2次補助冷却系系統図を図2-4に示す。

表 2-2(1) 2次補助冷却系統の主要項目(1)

項 目		設 計 仕 様	
設 備 一 般	設計熱移送量	2.236×10^6 kcal/hr	
	基盤及び耐震	1基、耐震Aクラス	
	入口ナトリウム温度	470℃	
	出口ナトリウム温度	340℃	
	ナトリウム流量	56.5 t/hr	
補 助 空 気 冷 却 器	設計圧力	内圧 2.0 kg/cm ² G 外圧 1.0 kg/cm ² G	
	設計温度	内圧負荷時 520℃ 外圧負荷時 250℃	
	耐震条件	耐震クラス	A
		水平震度	0.81 g
		垂直震度	0.324 g
	耐圧試験圧力	工場	4.9 kg/cm ² G
		現地	1.2 kg/cm ² G
	交換熱量	2.236×10^6 kcal/hr	
	熱交換型式	強制空冷フィンチューブ多管式	
	伝熱面積	210 m ²	
	流 体	管 内	液体ナトリウム
		管 外	空 気
	流 量		56.5 t/hr
			62.3 t/hr
	温度条件 (定格時)		入口 470℃
			入口 30℃
			出口 340℃
			出口 180℃
	流 速		1.037 m/s
			前面風速 4.65 m/s
伝熱管数		60本 (15本×4段)	
主要部寸法材質			
伝熱管径×厚さ×長さ		42.7φ×2.0t×2.180ℓ (フィン部)	
フィン径×厚さ×長さ		80.7φ×1.6t×2.180ℓ (5山/inch)	
伝熱管材質		STBA24	
フィン材質		SPCC	
ケーシング材質		SR42, SS41	

表 2-2(2) 2次補助冷却系統の主要項目(2)

項 目		設 計 仕 様
補 助 送 風 機	型 式 数 量 風 量(定格) 吐 出 圧 回 転 数 駆動電動機	インレットベーン付片取込横置ターボファン 1台 890 m ³ /min 95 mmAq 735 rpm 三相誘導電動機 30 kW × 400 V × 50 Hz × 8 P
入 口 ダ ン パ	形 式 駆動方式 羽根枚数 風 量(定格) 駆動トルク 使用圧力 使用温度 主要寸法	バタフライ式 空気作動式(ドライブユニット) 4枚 890 m ³ min 100 kg-m 0~180 mmAq 30~400℃ 1, 470 W × 2, 200 D × 500 H mm
出 口 ダ ン パ	形 式 駆動方式 羽根枚数 風 量(定格) 駆動トルク 使用圧力 使用温度 主要寸法	カンチレバータイプ 電動機駆動(コントロールモータ) 2枚 890 m ³ /min 1, 000 kg-m 0~180 mmAq 30~400℃ 1, 470 W × 2, 200 D × 250 H mm
風 道	形 式 使用圧力 使用温度 使用材質	角形鋼板製 (吸気ダクト丸形鋼板製) 0~100 mmAq 30~200℃ SS41, SB42

表 2-2(3) 2次補助冷却系統の主要項目(3)

	項 目	設 計 仕 様
二 次 補 助 電 磁 ボ ン プ	形 式	平板直線形誘導電磁ポンプ(他力普通風屋内保護形)
	数 量	1基
	定格流量	56.5 t/hr
	流量調整範囲	10~100%連続可変
	制御方式	電圧制御
	定格吐出圧力	4 kg/cm ² G
	電源容量	入力130 kVA
	電源電圧	3相 400V 50Hz
	冷却装置	押込送風機 60m ³ /min 45mmAq 駆動電動機 2.2kW
	概略寸法	ノズル径 3B(出入口同一) 外径 1,400W×2,750L×1,180Hmm
	ポンプダクト	
	フラット部(圧力発生部)	SUS 304CP
	三角部(Na出入口側共)	SUS 304HP
	エンドパイプ(外部配管との接続部)	SUS 304B
	ダクト固定支持座	SUS 304HP
フラット部エンドバー	TCupl-1/4H	
フレーム		
上部フレーム 下部フレーム	SS41	
ダクト固定支持台	SS41	
ダクト移動支持棒	SUS 32HP	
固定芯		
鉄 芯	S30 電磁鋼板	
クランパ	SS41	
形 膜 タ ン ク	形 式	堅直円筒形ラグ支持方式
	構 成	上下端10%さら形鏡板付
	主要寸法	胴内径 700mm 全 高 1,184mm 全 幅 1,300mm(ラグ含む寸法) 板 厚 円筒形胴 6mm 鏡 板 6mm
	ノズル径	ナトリウム入口ノズル 1B×sch40 オーバフローノズル 1B×sch40 Ar供給ノズル 1B×sch40 計装取付ノズル 6B×sch40
	胴、鏡板、計装取付座、ノズル用ボス	SB42
	プランケット当板	SB42
	ノズル	SfPT42

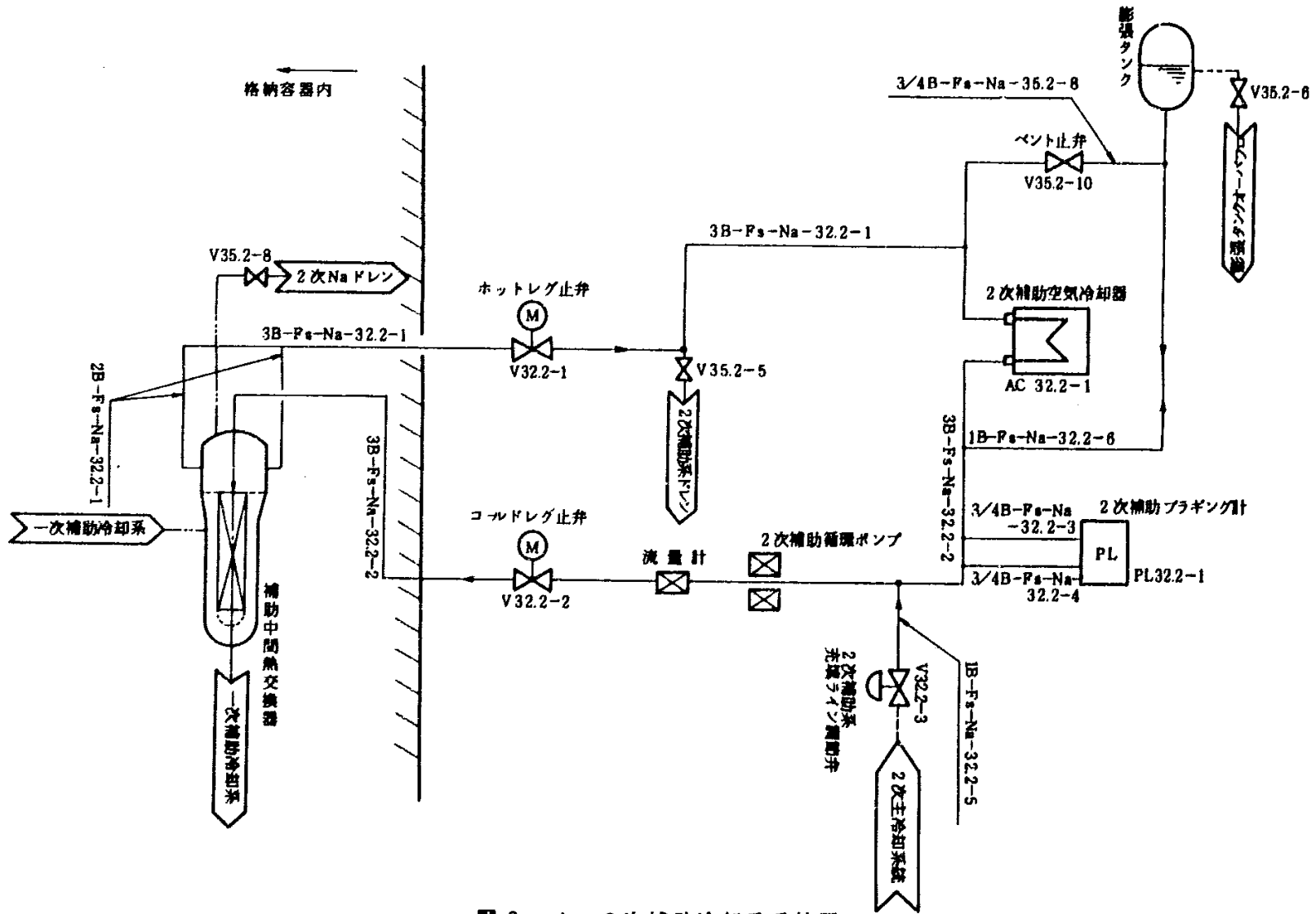


図 2 - 4 2次補助冷却系系統図

2-5 2次補助冷却システムの運転

2次補助冷却系の運転モードは、系統として設計されている熱除去を行なう場合と、主冷却系統が運転されていて炉心の熱除去を行なわなくてよい場合の2つに大別できる。2次補助冷却系統は上記いずれの運転状態でも定格流量で運転されているのが1次補助冷却系との違いである。冷却材の温度制御は、補助冷却器出口ナトリウム温度を一定に保持するよう空気流量を調整して行なう。

通常の原子炉出力運転時には2次主冷却系で必要な熱除去が行なわれているので、2次補助冷却系統では1次補助冷却系統から伝えられる少量の熱を補助冷却器の空気の自然通風（送風機入口ベーン全閉の隙間通過）により大気へ放熱しているのみである。一方補助冷却系で炉心冷却を行なう場合は、補助送風機を起動し、補助冷却器出口 Na 温度を検出して補助送風機の入口ベーンの開度を調整し出口 Na 温度を一定に保持する。入口ベーンの制御範囲を超える低負荷時には、補助冷却器の入口ダンパ調節を併用することにより空気流量を調整し、補助冷却器出口 Na 温度を一定に保つように制御する。

2-2の補助系自動起動信号により補助送風機は自動起動し、補助冷却器出口ダンパは自動全開となる。

3. 系 統 運 転 実 績

3-1 1次補助冷却システムの運転実績

本系統は、主冷却系で炉心の冷却ができなくなった場合非常用炉心冷却装置として作動するものであるが、過去5年間の運転実績では厳密な意味の非常用炉心冷却の目的で運転された事はない。

1次補助循環ポンプの運転された主な理由は、定検作業のために主系統での炉心崩壊熱除去が不可能な場合に運転されたものである。また1次補助循環ポンプは、異常時には非常用炉心冷却系として自動起動するが、過去5年間の実績では6回自動起動している。しかしこの内5回は、原子炉保護系動作試験等で計画的に自動起動させたものである。また原子炉起動前点検での自動起動は上記回数には含んでいない。残る自動起動は、昭和56年7月26日にオーバフローポンプトリップを原因とする炉容器 Na 液面低々で12時50分に自動起動したものである。しかしこれは、ボニーモータによる主冷却系運転が可能であったため30分間で停止され、後述するように2次補助系の冷却運転には至らなかった。

本系統はプラントが通常運転状態にある場合、図2-1に示すように、主ポンプ吐出圧力により系統のウォーミングをかね75 MW炉心では定格流量の約30%で逆流状態にある。この時間が5年間で約21000時間であった。

以上により、本系統は5年間大きなトラブルもなく順調に運転されたとと言える。

3-2 1次補助冷却システムの修理依頼状況

昭和52年から昭和56年12月までに発行された1次補助冷却システム関係の修理依頼件数は次のとおりであった。

(1) 昭和52年～53年	0 件
(2) 昭和54年	2 件
(3) 昭和55年	1 件
(4) 昭和56年	1 件

その内容は以下のとおりである。

(1) S 54. 4. 28	1次補助冷却系予熱温度記録計チャート送り不良
(2) S 54. 3. 4	1次補助冷却系サイフォンブレイク配管温度低
(3) S 55. 2. 6	補助 IHX 出入口 Na 温度記録計破損
(4) S 56. 9. 8	1次補助冷却系回路リレー不良

即ち、計器故障が2件、予熱ヒータ関係1件、補助循環ポンプ起動回路点検依頼が1件であるが、起動回路については、操作上のミスで回路の不具合ではなかった。その他の3件も直接系統の運転に大きな影響を及ぼすものではなかった。

以上の結果により1次補助冷却系統は良好な運転結果を得たと判断できるが、これは1次補助冷

却系が主に逆流状態にあり、停止状態と同様であったためと考えられる。

3-3 2次補助冷却システムの運転実績

本系統は通常100%流量で運転され、1次補助系より伝えられる少量の熱を補助冷却器の自然通風によって除去している。この系統が補助送風機を起動し冷却運転された実績はなかった。(性能試験等含まず)

2次補助循環ポンプも順調に運転され、大きな問題は生じなかった。同ポンプは5年間に約39,000時間運転されてきた間に4回トリップしているが、その全てが電源喪失事故であり本系統のトラブルによるものではなかった。なお、この電源喪失事故は、昭和53年2、7月、昭和54年2、8月の各1回である。

その他、2次補助冷却系統が停止されたのは、定検等作業のためNaをドレンしている時である。長期間停止された主なものを次に記す。

- | | |
|------------------------|---------|
| (1) 昭和54年9月22日～11月22日 | 約1466時間 |
| (2) 昭和53年1月4日～2月8日 | 約353時間 |
| (3) 昭和55年10月25日～12月17日 | 約732時間 |
| (4) 昭和52年7月18日～8月12日 | 約591時間 |
| (5) 昭和53年10月12日～10月25日 | 約309時間 |
| (6) 昭和53年8月29日～9月8日 | 約239時間 |
| (7) 昭和54年12月16日～12月25日 | 約210時間 |
| (8) 昭和53年3月23日～3月30日 | 約154時間 |

3-4 2次補助冷却システムの修理依頼状況

昭和52年から昭和56年12月までの2次補助冷却系の修理依頼の発行件数は次の図3-1のとおりである。

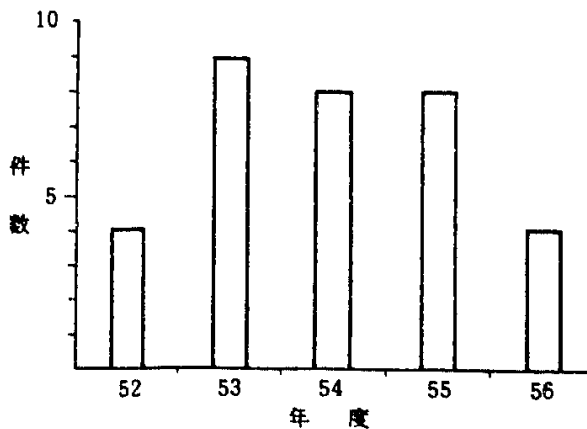


図3-1 年度別発行件数

また、修理依頼を機器別に区分すると次の様になる。

計装関係 8件 24.2%	ブラッキング計 7件 21.2%	予熱ヒータ 7件 21.2%	EMP冷却ファン6件 18.2%	9.1%	6.1%
------------------	---------------------	-------------------	---------------------	------	------

図3-2 修理依頼機器別区分

補助冷却器3件
補助循環ポンプ2件

(1) 計装関係 8件

計装関係の修理依頼を詳細に分類すると次のとおりになる。

- a Na 漏洩警報の誤動作 2件 昭和53年7月4日, 11月27日発行
- b 漏洩検出器チェック回路不調 1件 昭和53年4月15日発行
- c 膨張タンク液位高警報の誤動作 1件 昭和52年12月8日発行
- d 補助冷却器出入口Na温度記録計不良 1件 昭和54年4月15日発行
- e 補助冷却器温度変換器及びコンピュータパッド点検依頼 1件 昭和55年8月13日発行
- f 補助冷却器出口ダンパ開度指示計不良 1件 昭和54年12月25日
- g 充てんライン調節弁電磁弁空気もれ 1件 昭和55年3月14日

(2) ブラッキング計 7件

ブラッキング計関係の修理依頼を詳細に分類すると次のとおりである。

- a ブラッキング計動作不良 3件 昭和53年2月12日, 10月18日, 昭和56年1月17日発行
- b ブラッキング計チャート送り不良 1件 昭和52年10月27日発行
- c ブラッキング計冷却ダンパ不良 2件 昭和52年11月17日, 昭和56年4月2日発行
- d ブラッキング計温度, 流量比指示不良 1件 昭和54年7月11日発行

ブラッキング計の不調は昭和54年7月までに5件発生し、昭和54年12月点検終了後順調に運転されていたが、昭和56年になり2件の不具合が発生している。ブラッキング計はシステムのNa純度を計測する装置であり今後その運転に際しては、十分注意を要する。

(3) 予熱ヒータ 7件

予熱ヒータ関係の修理依頼を詳細に分類すると次のとおりである。

- a 予熱ヒータ制御盤点検依頼 5件 昭和53年2月18日
 - * 54年1月30日
 - * 54年7月30日
 - * 55年4月13日
 - * 56年9月29日発行
- b 予熱ヒータ警報回路点検依頼 2件 昭和54年7月30日
 - * 55年8月13日発行

予熱ヒータ関係の不具合は、再現性がない場合が多く、保守性の面からも問題点となっている。

今後この種の不具合が発生する可能性があり、注意が必要である。

(4) 2次補助循環ポンプ冷却ファン 6件

2次補助循環ポンプ冷却ファンの修理依頼を詳細に分類すると次のとおりである。

- a 冷却ファン入口フィルタ目詰り 5件 昭和52年8月2日, 昭和53年6月20日
昭和54年5月22日, 昭和55年3月14日
昭和54年9月18日
- b 冷却ファンリレー異常 1件 昭和53年3月10日発行

2次補助循環ポンプ冷却ファンの異常は主に冷却ファン入口フィルタの目詰りであるが、これは循環ポンプダクト、コイルの過熱の原因にもなり、注意が必要である。

(5) 補助冷却器 3件

補助冷却器の修理依頼は次のとおりである。

- a 補助冷却器出口ダンパ動作不良 2件 昭和54年1月9日, 昭和55年10月1日発行
- b 補助冷却器入口ベンドライブユニット切替レバー切折
1件 昭和56年10月8日発行

補助冷却器のダンパ、ベーンは通常動作しないため、原子炉起動前点検の際にその動作の確認を十分行なう必要がある。

(6) 補助循環ポンプ 2件

補助循環ポンプの修理依頼は2件共、IVRの不良である。発行されたのは、昭和53年2月17日と昭和55年4月18日である。

昭和53年2月に発行されたのは、IVRの設定不良であったが昭和55年4月の場合は、IVRモータ停止用ストップボルトが破損し、IVRが遅相側に移動するという故障であった。幸い、原子炉停止中でありプラントには影響はなかった。

2次補助冷却系統の修理依頼状況は、5年間で33件と、1次補助冷却系統の約8倍発行されている。これは2次補助冷却系が通常100%流量で運転されているのも一因であると考えられるが、ブラッキング計と2次予熱ヒータで約半数をしめているのが特徴である。他の機器のトラブルは年々減少しているにもかかわらず、この2つの機器に関しては例外である。今後も小さいが故障の発生する可能性が高く注意が必要である。その他で、同一機器で修理依頼の発行件数の多いのは循環ポンプ冷却ファンの6件、計装関係のうちでNa漏洩検出器3件である。特に冷却ファンの場合6件中5件が、冷却ファン入口フィルタ目詰りでありフィルタの清掃を定期的実施することが必要と考えられる。

このように修理依頼の状況を見て気がつくことは、発行件数の多い設備をみると、ブラッキング計、予熱ヒータ、Na漏洩計とFBR特有のNa関係設備が多いことである。今後本系統を運転するにあたってはそのことを念頭におかなければならない。

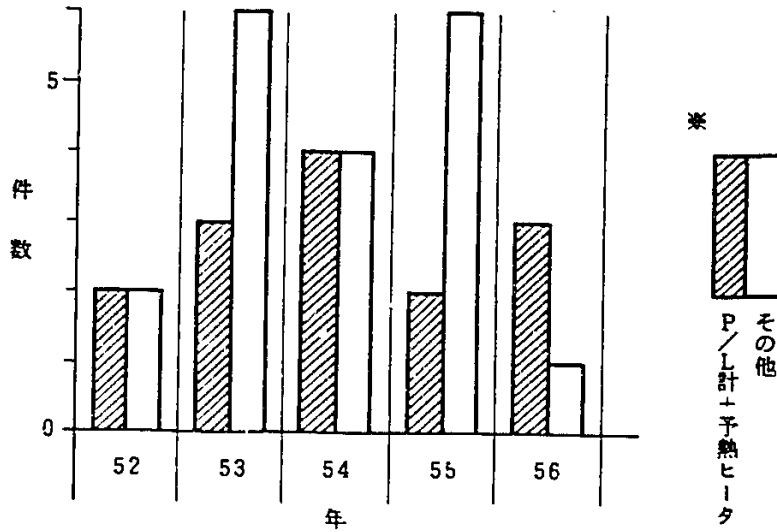


図3-3 機器別発行数の推移

3-5 設備改造について

2次補助冷却系統での設備改造は、昭和53年8月21日に補助冷却器排風口からの熱風による主冷却機建家壁温度上昇という項目で設備改造提案が出され、次のとおりに改造された。

(1) 提案理由

補助冷却器の冷却用空気の吸気口および排気口の取付位置は図3-4に示すとおり原子炉付属建家と主冷却器建家の間(約4m)に設けられている。性能試験(補助冷却系除熱能力確認試験)において、排気口からの熱風(2.0MW除熱時で約150℃)が主冷却器建家外壁に吹き付け、コンクリート強度の保持上、問題のあることが判明した。

(2) 改造内容

昭和54年3月24日に排気口ダクトを上方向ける改造が実施された。図8-10参照

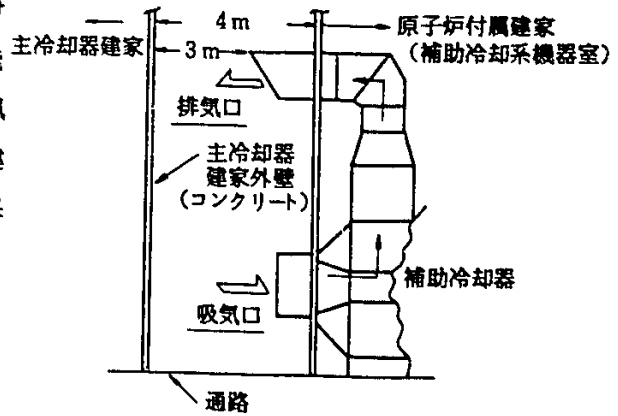


図3-4

3-6 補助系自動起動の経験

昭和56年7月26日12時01分に原子炉75MW運転状態で1次オーバーフロー汲上げポンプが誤操作のためトリップし、自動調整棒一斉挿入により原子炉は停止されたが1次冷却系統ナトリウム液面が温度収縮により低下し1次主循環ポンプもトリップしボニーモータに引継がれた。崩壊熱除去は主冷却系統により正常に行なわれたが、1次系への汲上げが不能のため原子炉容器液面は基準

液面 -320 mm 以下に低下し、補助系自動起動に至った。すなわち1次補助循環ポンプおよび補助送風機が自動起動し炉心冷却をバックアップする状態となったが、原子炉停止後約50分間の主冷却系統での冷却により系統温度は補助冷却系統の制御温度 $398\text{ }^{\circ}\text{C}$ を十分下まわっていた。しかも1次純化系汲上ポンプによる緊急汲上げにより1次系ナトリウム液面が回復されたためボニーモータでの継続運転が十分可能と判明したので1次補助循環ポンプおよび補助送風機は手動停止された。

原子炉運転中に補助冷却系が自動起動した唯一の例となったが、主冷却系統が引続き運転されたため補助冷却系単独の冷却運転とはならなかった。このときの補助冷却系の状態を図3-5に示す。

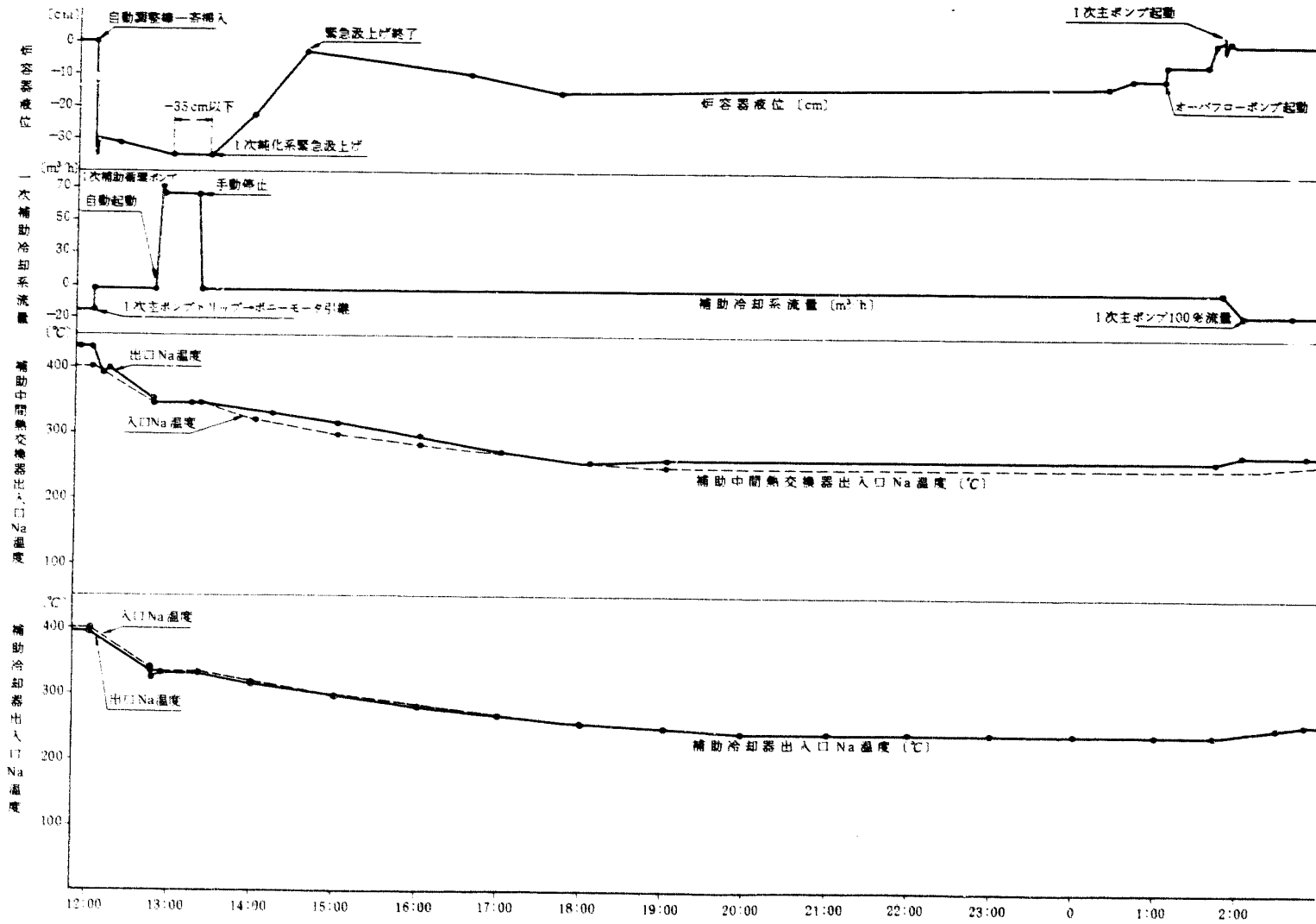


図3-5 昭和56年7月26日オーバーフローポンプ停止時の補助冷却系統状態変化

4. 補助循環ポンプ運転実績

4-1 1次補助循環ポンプ運転実績

(1) 起動回数

32回 その内自動起動6回

(2) 1次補助循環ポンプ運転時間

529時間

(3) 系統逆流状態時間（1次主循環ポンプ20%流量時は逆流流量が少量なので含まず。）

約21000時間

年度別運転状態を図4-1(1)～(5)に、運転時間を表4-1にそれぞれ示す。

4-2 2次補助循環ポンプ運転実績

(1) 停止回数（通常100%流量運転のため）

40回 その内トリップ4回

(2) 2次補助循環ポンプ運転時間および停止時間

運転時間 約39140時間

停止時間 約4700時間

年度別運転状態を図4-1(1)～(5)に、運転時間を表4-1にそれぞれ示す。

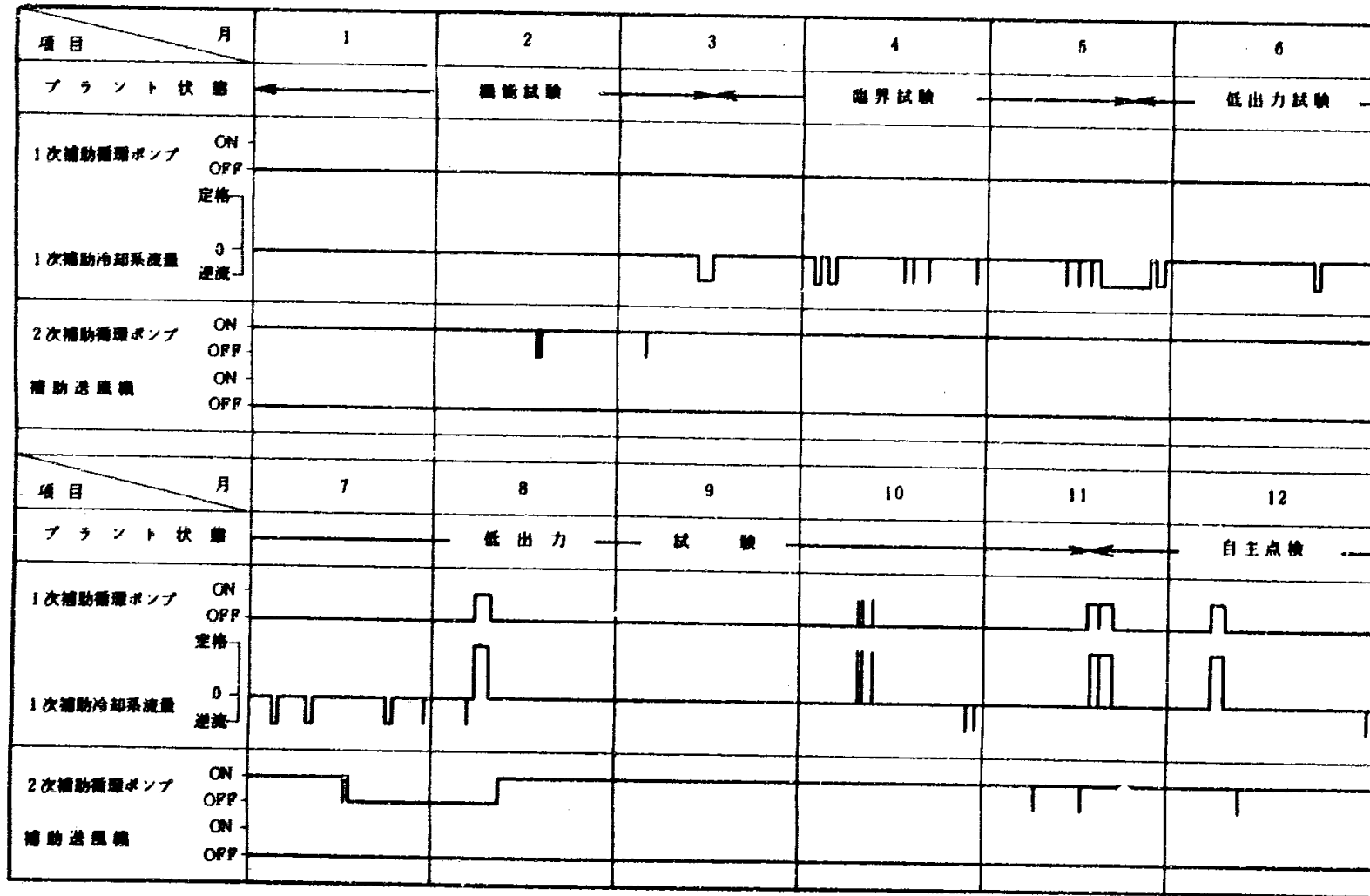


図4-1(1) 昭和52年補助冷却系運転実績表

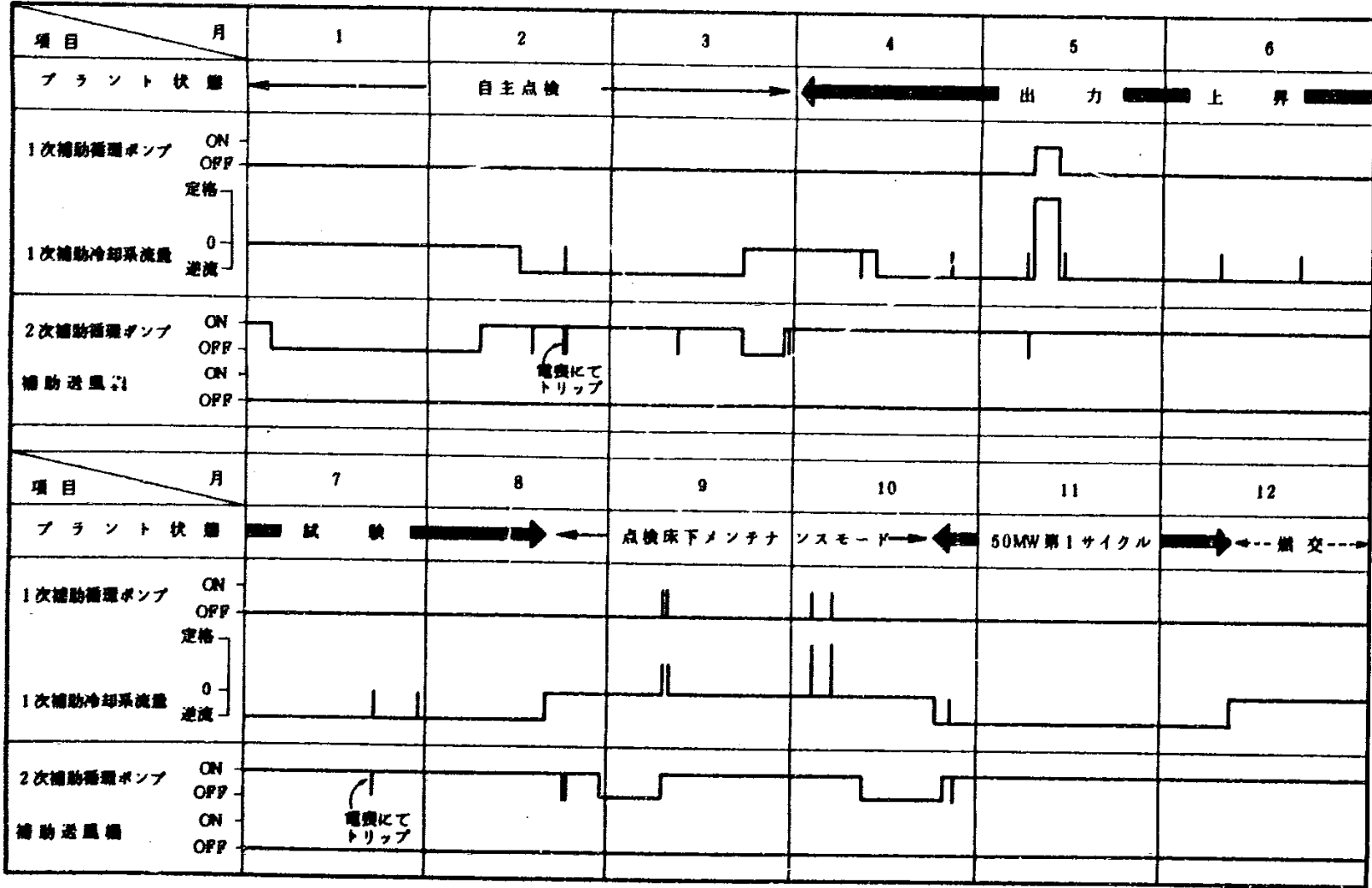


図4-1(2) 昭和53年補助冷却系運転実績表

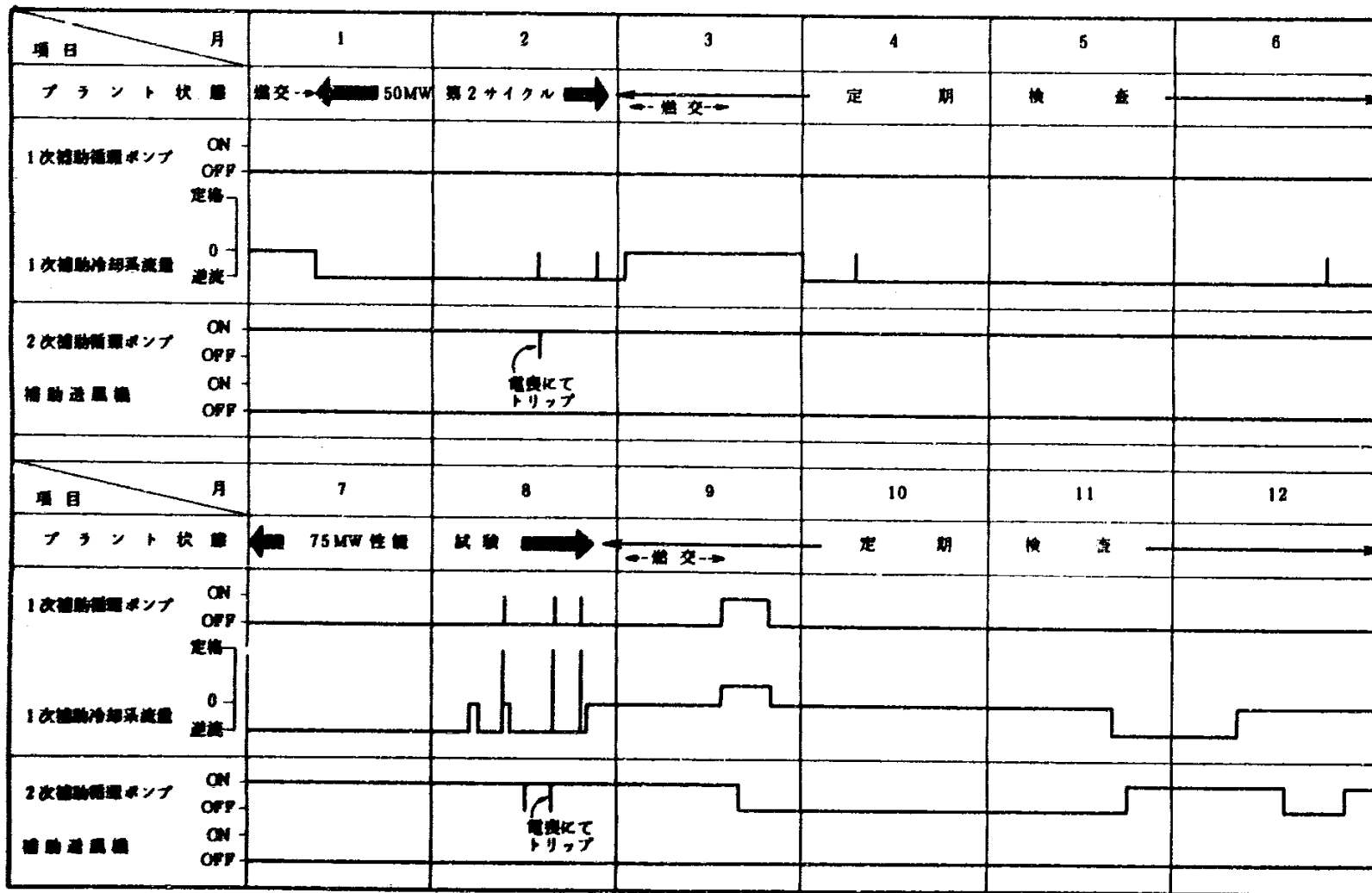


図4-1(3) 昭和54年補助冷却系運転実績表

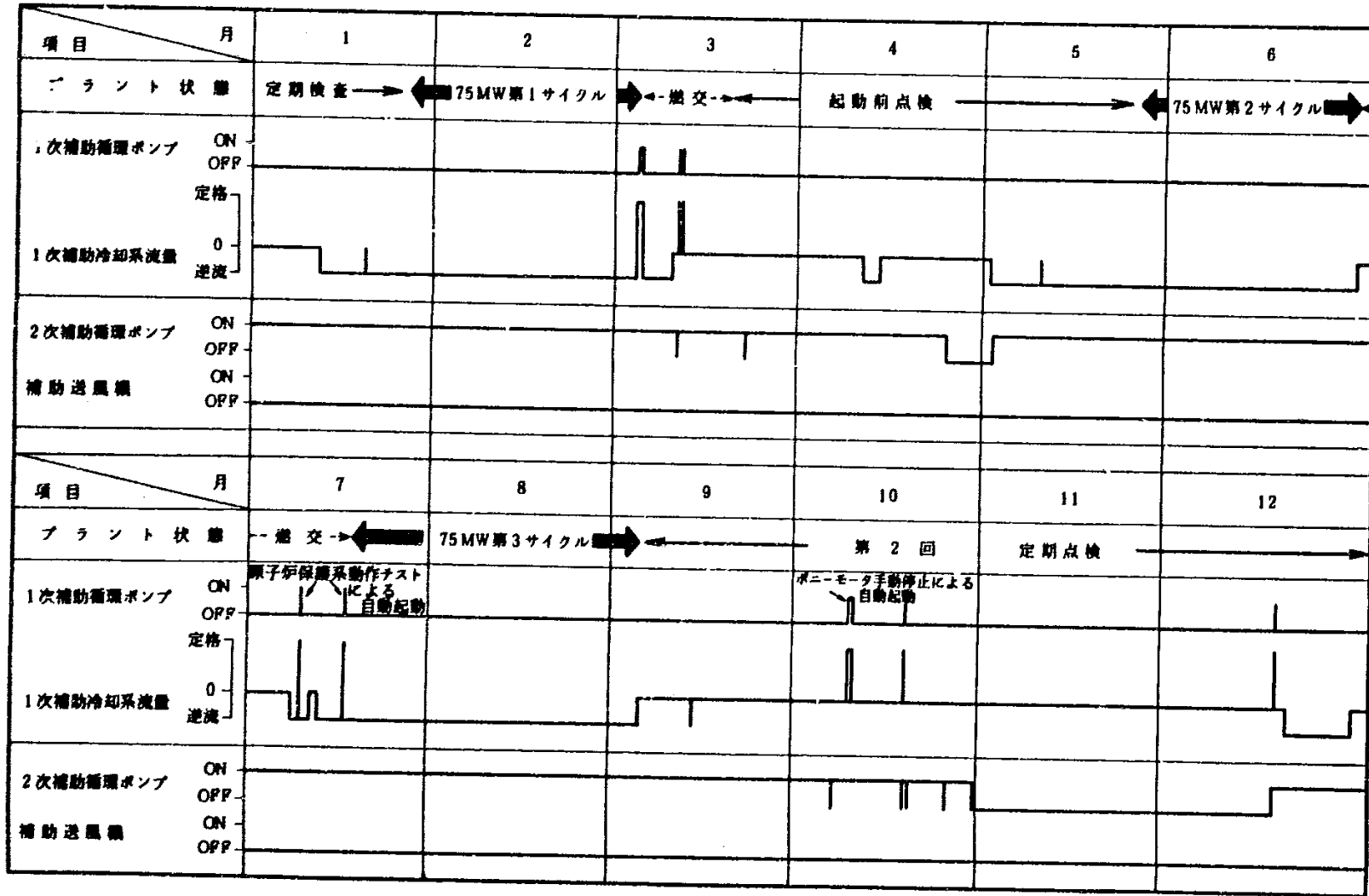


図4-1(4) 昭和55年補助冷却系運転実績表

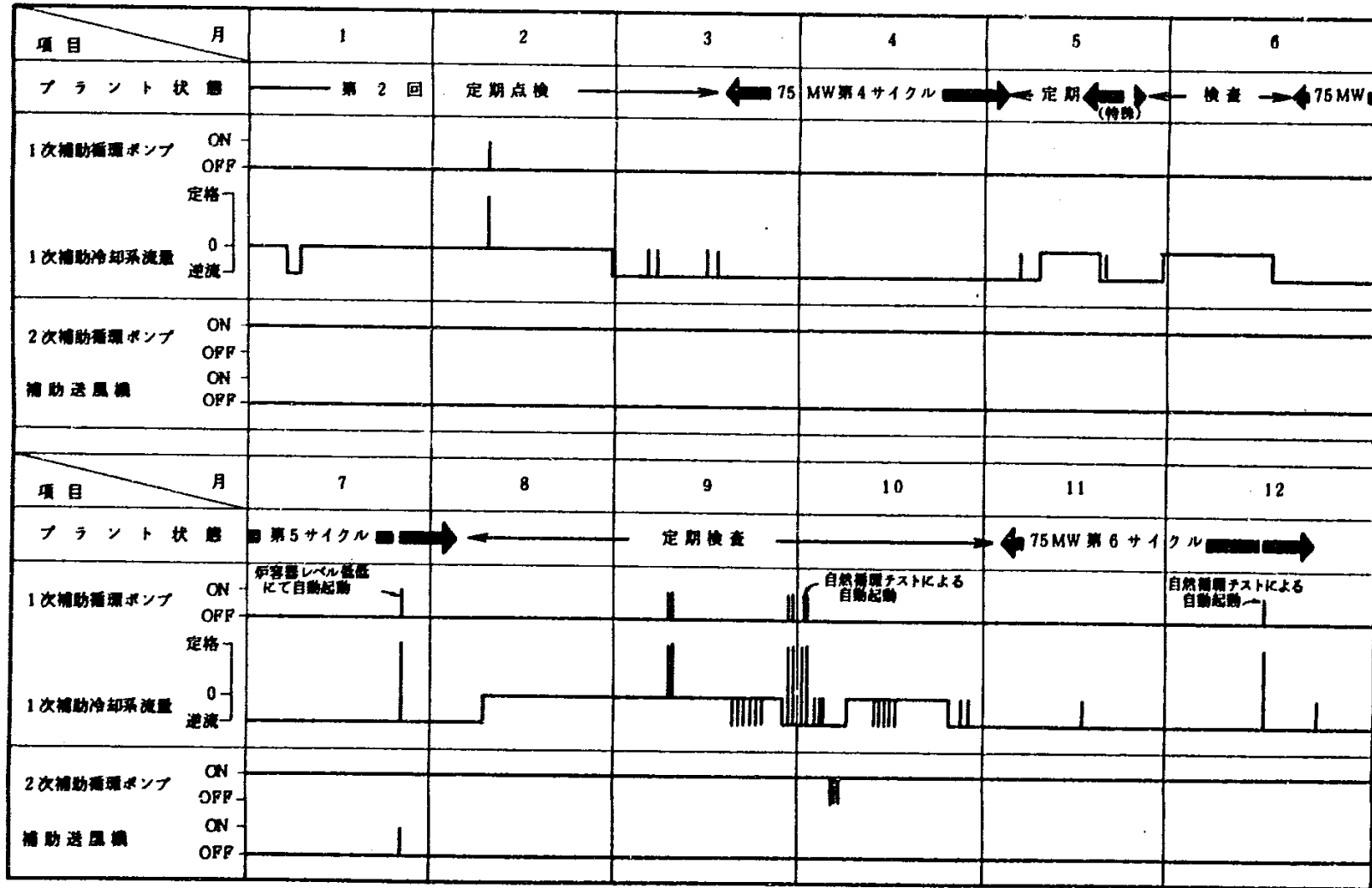


図4-1(5) 昭和56年補助冷却系運転実績表

表 4 - 1 補助冷却系統運転時間

項目 \ 年度	52	53	54	55	56	合計
1次補助循環ポンプ 運転時間 (Hr)	243	70	155	43	18	529
起動回数 (自動起動) (回)	7	4	4	8 *(3)	9 *(3)	32 (6)
停止時間 (Hr)	8517	8690	8605	8741	8742	43295
1次補助冷却系統 逆流状態時間 (Hr) (主ポンプ20%流量時は含まず)	888	4672	4992	4512	5372	20964
2次補助循環ポンプ 運転時間 (Hr)	8137	7163	7065	8022	8753	39140
停止時間 (Hr)	623	1597	1695	762	7	4684
停止回数 (トリップ) (回)	9	15 *(2)	5 *(2)	8	3	40 (4)
備考		*2月21日 14:05 7月23日 14:56	*2月17日 14:23 8月18日 14:02	*7月9日 10:41 7月16日 12:48 10月8日 16:05	*7月26日 12:50 9月9日 10:00 10月1日 14:45	

4-3 2次補助循環ポンプ運転特性

昭和54年8月13日から8月21日の2次補助循環ポンプの運転において、印加電圧、吐出流量をペンレコーダに記録させる事により、以下の事がわかった。

(1) 2次補助電磁ポンプの印加電圧と吐出流量の関係を図4-2に示す。図より印加電圧と吐出流量は相対関係にあり、印加電圧が変動すると吐出流量も変動することがわかる。また、A、B-主送風機を起動した時の電圧降下をみても相対関係があることが良くわかる。なお、ここで印加電圧が変動しているが、これは印加電圧の増減操作を行なっているのではなく、系統電圧の変動により増減しているものである。

(2) 次に2次補助冷却系系統温度と2次補助循環ポンプ印加電圧、吐出流量の関係を図4-3(1)、(2)に示す。図4-3(1)は、8月19日10時より系統昇温を行ない、252℃～370℃まで昇温した時のデータである。10時から13時までは、流量が増加しているが、これは系統電圧変動(増加)により流量が増加したものであると思われる。しかし、13時から20時の間は、ほぼ電圧一定にもかかわらず流量が減少している。

同様に図4-3(2)でも系統温度上昇により流量の減少がみられる。

上記現象を追求するため系統温度の異なる390℃と290℃の時に印加電圧を増減させ流量がどの様に関係するかを調査した。これを図4-4に示す。この結果同一電圧に対して系統温度が低い程、吐出流量が多い事がわかった。

なお、2次補助循環ポンプの特性試験は、ナトリウム機器構造試験室で行なわれており、温度の低い方が高い時に比べ、ポンプ効率が良く、吐出流量も当然多くなる事が証明されている。

(3) 2次補助循環ポンプの印加電圧が系統電圧により変動することを先に述べたが、ではどの様に変動しているかを時間経過を追って調査した。これを図4-5に示す。図により、電圧の振幅の大小はあるが、絶えず変動している事がわかった。電圧変動の原因としては、2次補助循環ポンプ自身の電圧変動と系統電圧変動による電圧変動が考えられるが前者の循環ポンプ自身の電圧変動は、電圧調整器によって一定に保たれているため、あまり考えられない。

よって電圧変動の原因は、系統電圧変動によるものと考えられる。

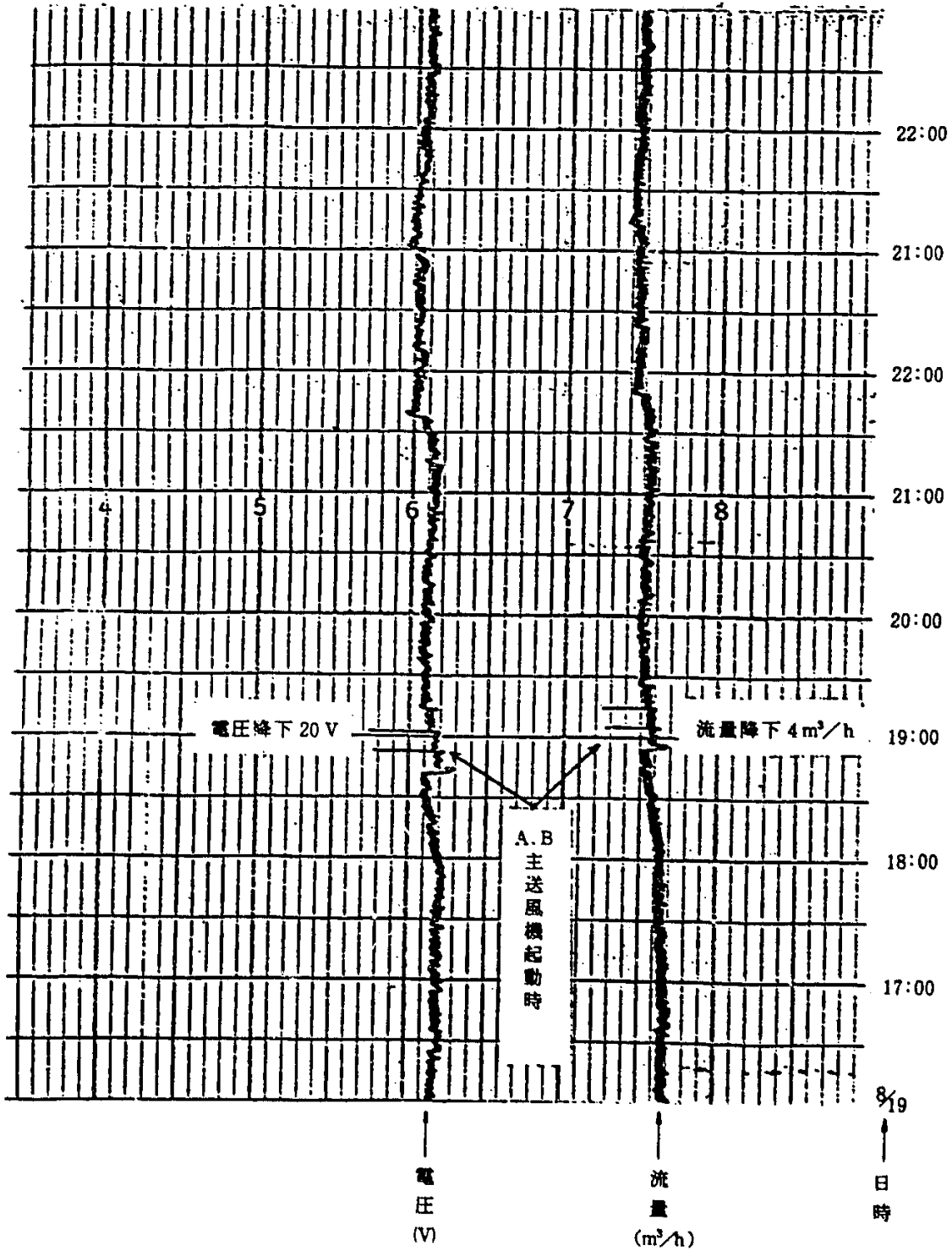


図4-2 2次補助電磁ポンプ印加電圧と吐出流量
(系統温度 370℃, 電圧調整器固定状態)

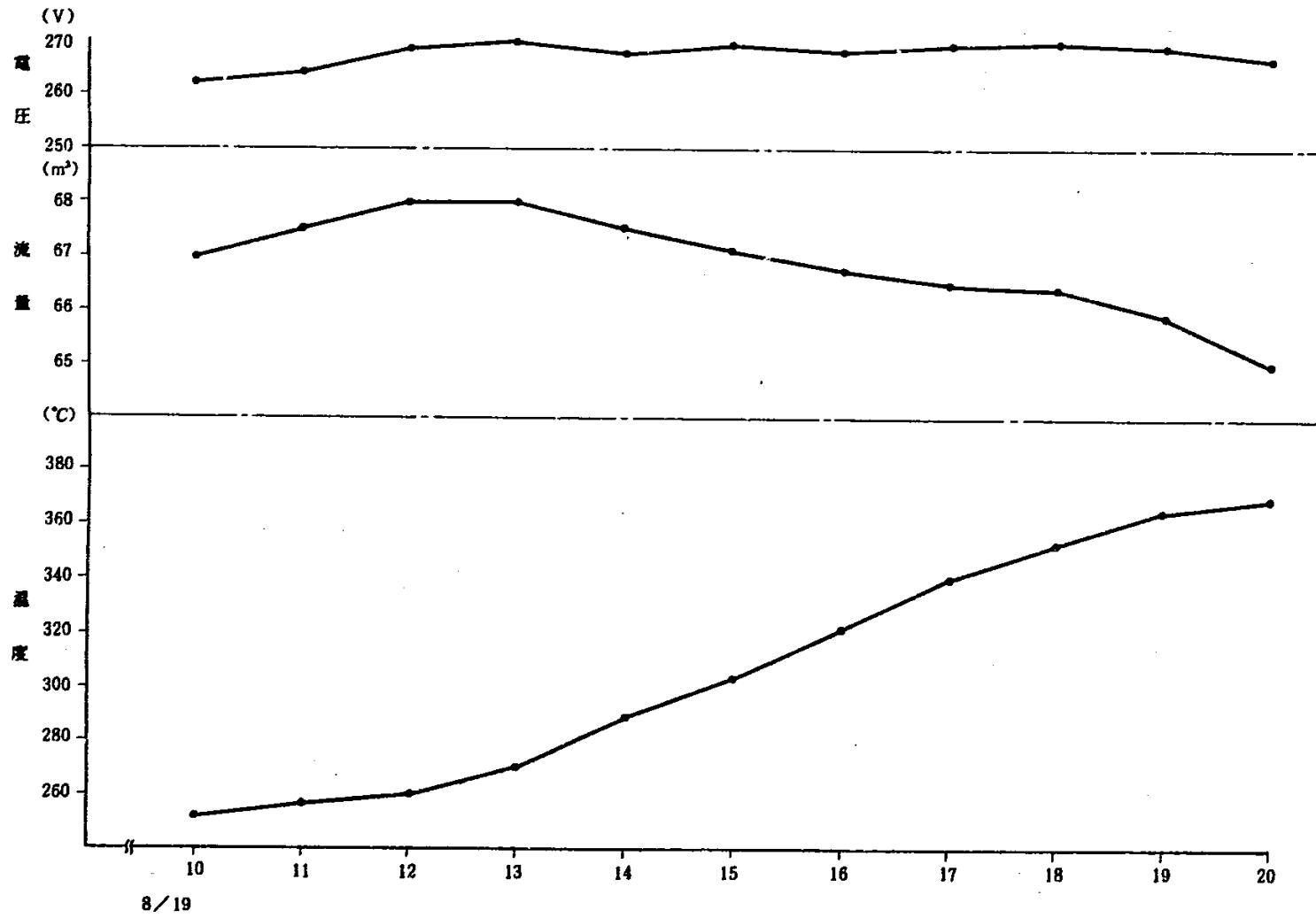


図4-3(1) 系統昇温時の2次補助電磁ポンプ印加電圧, 吐出流量

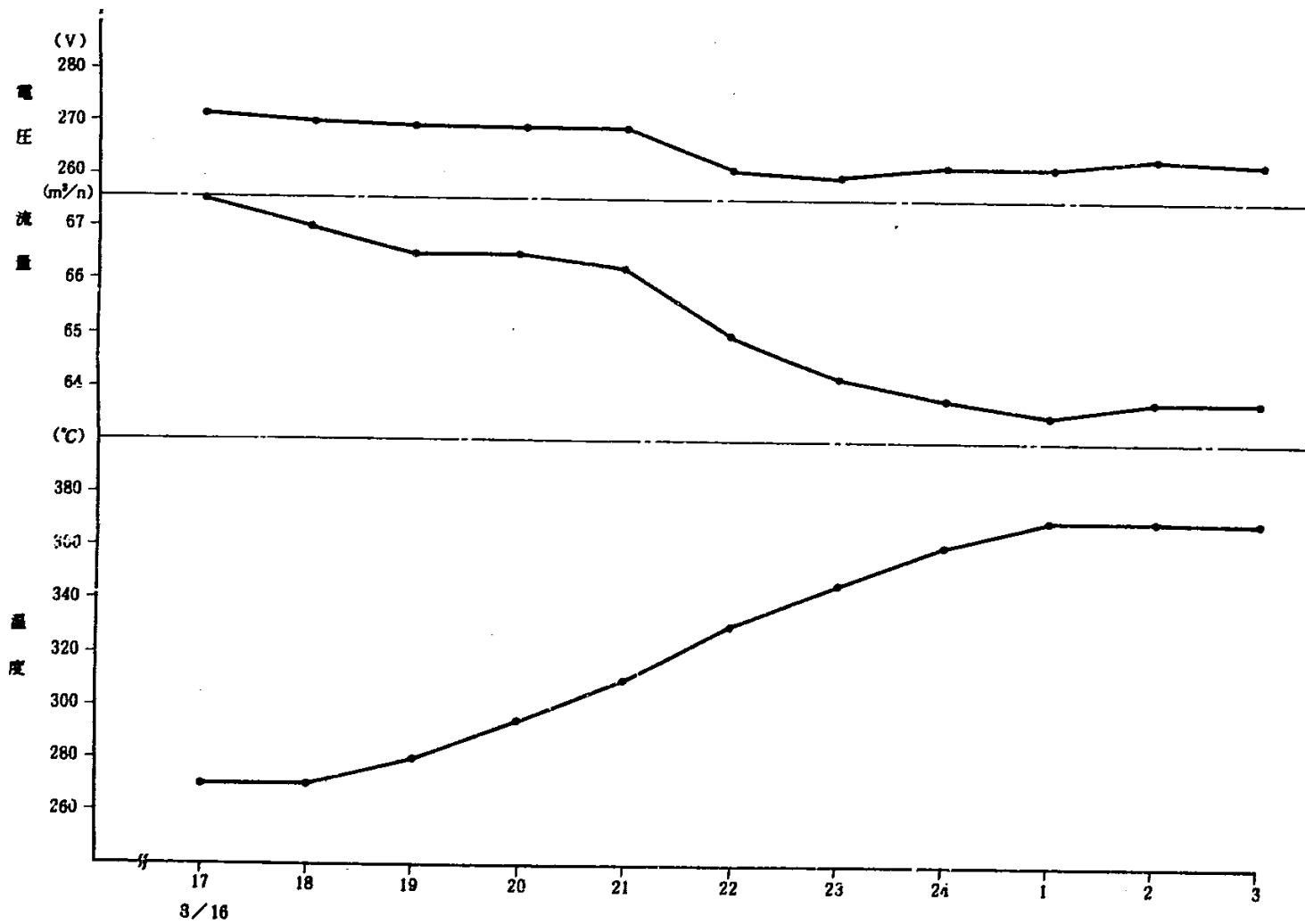


図 4-3 (2) 系統昇温時の2次補助電磁ポンプ印加電圧, 吐出流量

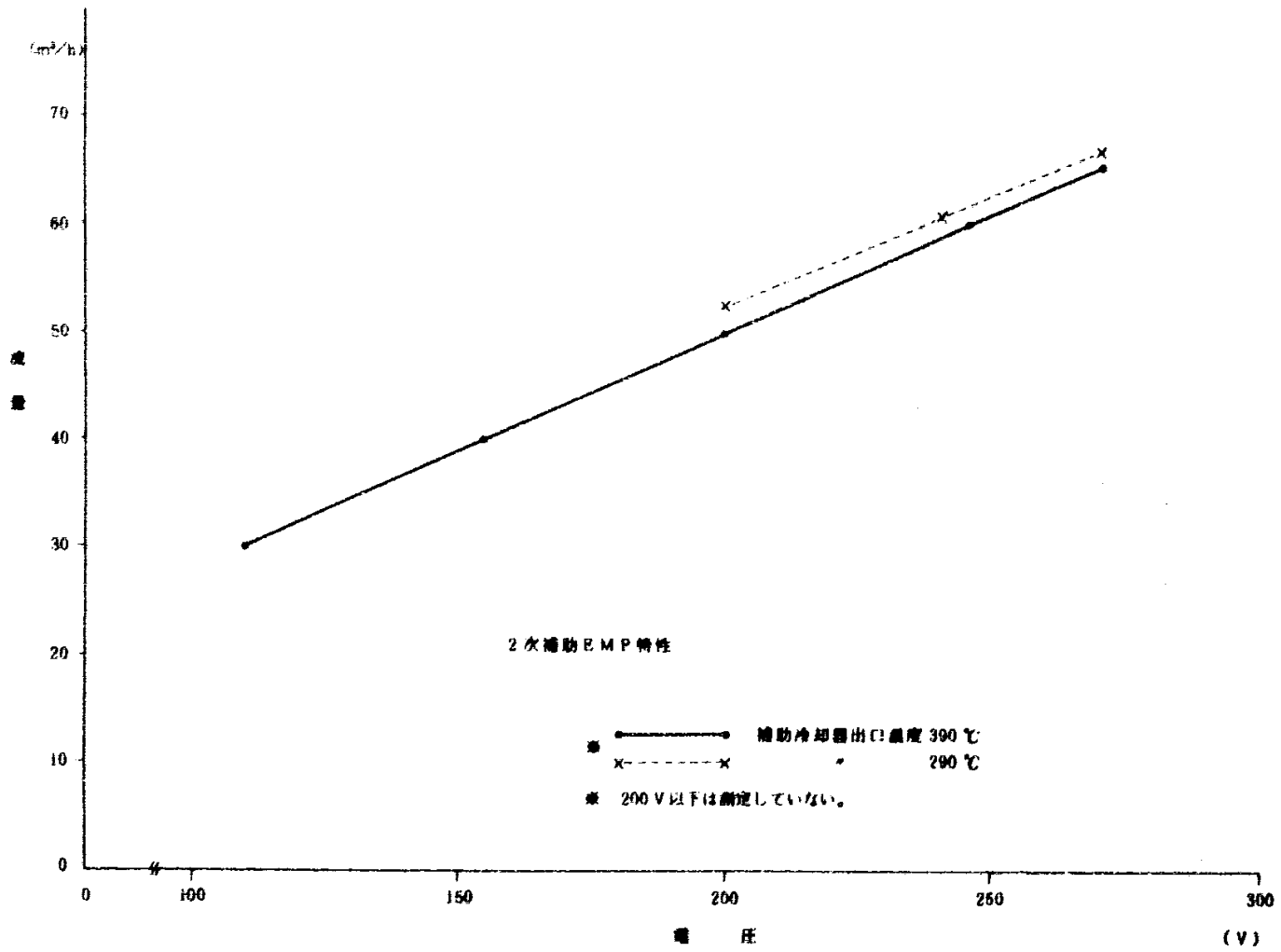


図4-4 系統温度 390℃, 290℃時の印加電圧と吐出流量

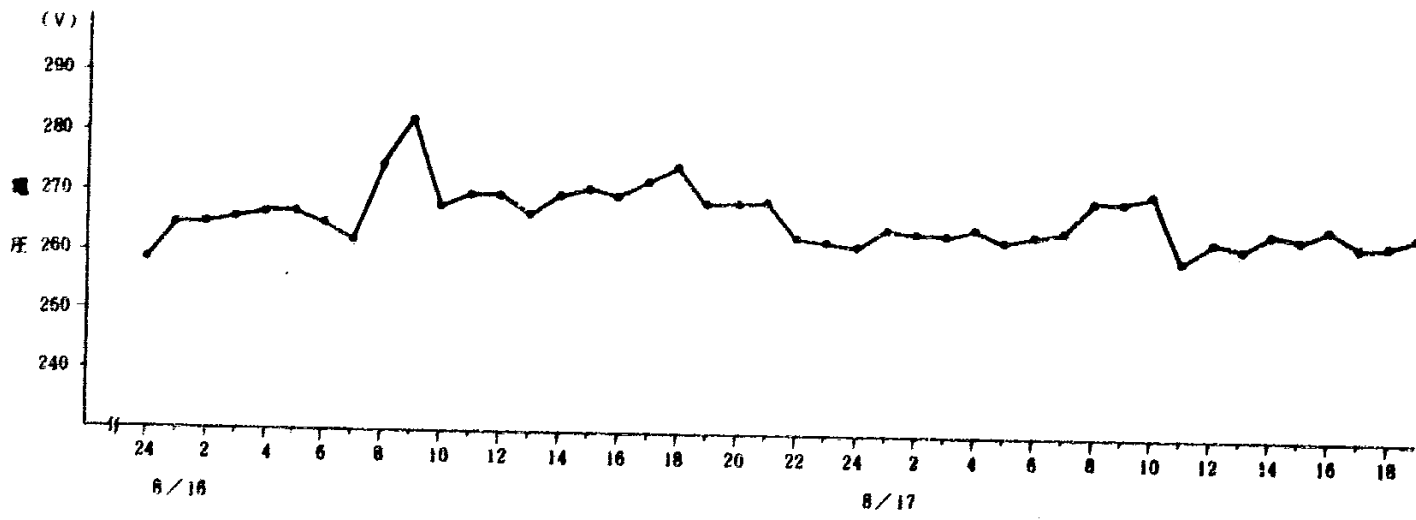
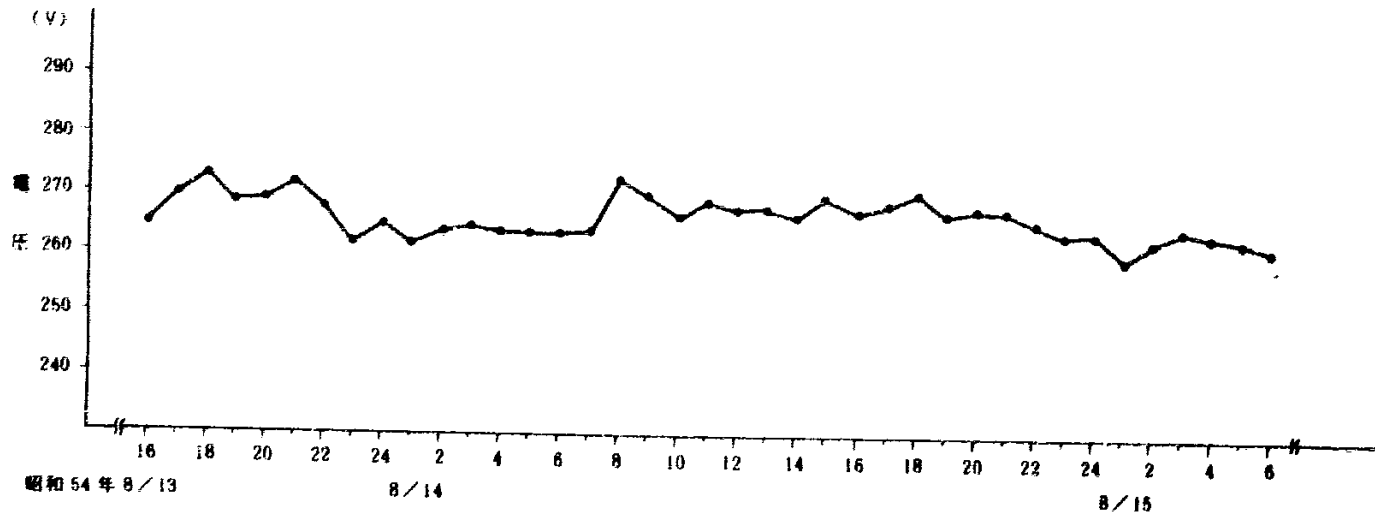


図4-5(1) 2次補助電磁ポンプ印加電圧の変動

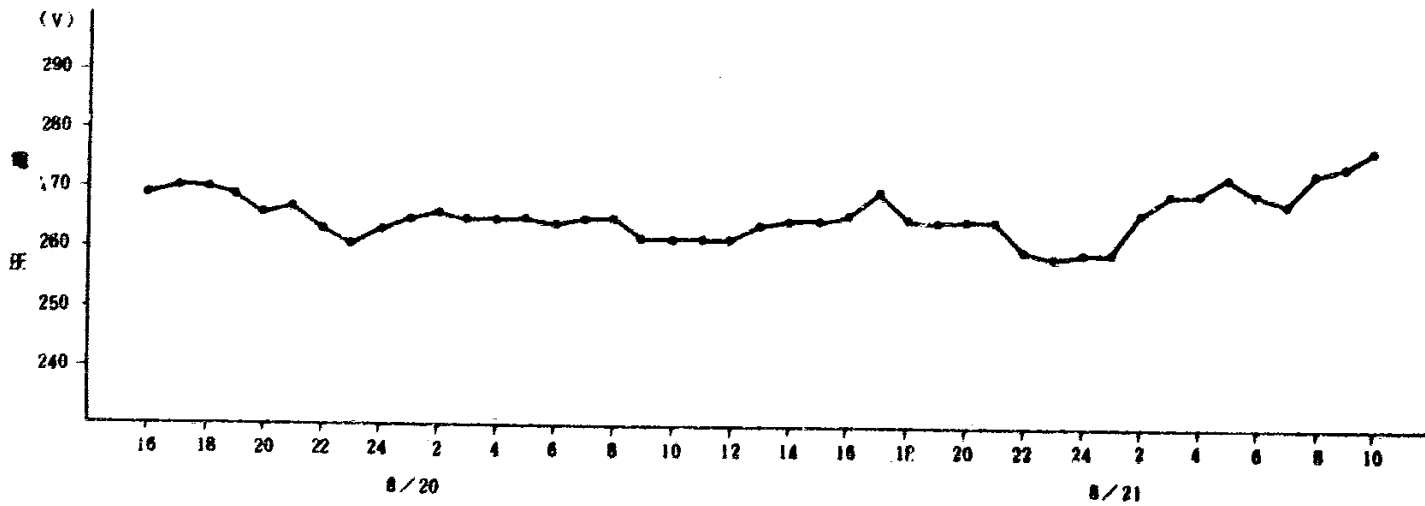
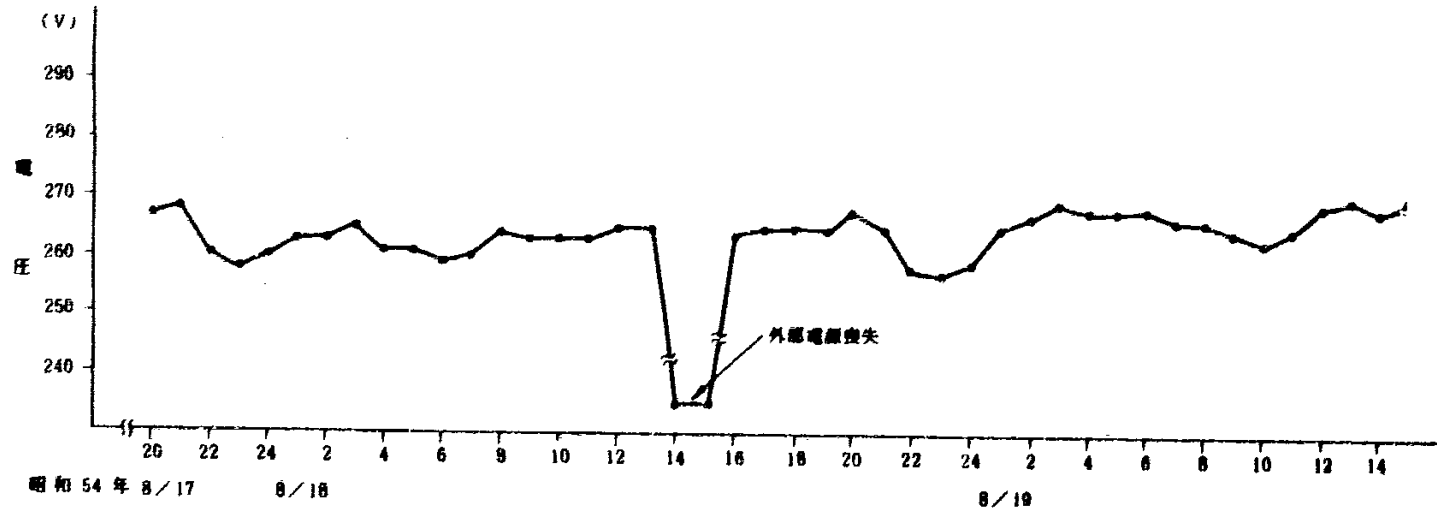


図4-5(2) 2次補助電機ポンプ印加電圧の変動

5. 問題点と対策

1次補助冷却系統で問題点は過去5年間、特になかった。今後扱われている問題は2-3項で記したとおり、ポンプモータの回転数設定及び自然循環を考慮した補助系運転基準の見直しである。

2次補助冷却系統においては、2次補助循環ポンプIVRが2回故障している。しかし故障が発生したのが原子炉停止中であったため、大事には至らなかったが、原子炉運転中であれば原子炉停止を余儀なくされたであろう。今後2次補助冷却系の流量を定期的に少し変化させ循環ポンプIVRの健全性確認を実施する等の対策が望まれる。

またプラグイン計、予熱ヒータ、Na漏洩検出器についてはトラブルがかなり発生しているが、その内容が動作不良、誤信号等、設備の信頼性の問題であり、今後の運転経験を積み重ね、トラブルに対処したい。2次補助循環ポンプ冷却ファン入口フィルター目詰りが年平均一回の割合で発生している。これは目視にてフィルターの目詰りを判断するもので発見が遅れると循環ポンプ過熱に至る恐れがある。フィルター清掃を定期的の実施する事が望ましい。

6. 結 言

高速実験炉「常陽」補助冷却システムの5年間の実績を要約すると次のとおりである。

- (1) 1次補助循環ポンプの起動回数は32回で運転時間は約530時間であった。主に性能試験、定検中の崩壊熱除去の目的で運転された。
- (2) 1次補助冷却システムの逆流状態は約21000時間であった。
- (3) 1次補助循環ポンプの自動起動回数は6回であり、内5回が計画的なものであった。
他の1回は、昭和56年7月26日に発生したオーバフローポンプトリップによる炉容器液面低での自動起動であるが、冷却運転には至らなかった。
- (4) 2次補助冷却システムの運転時間は約39140時間であった。
- (5) 2次補助冷却システムの停止回数は40回で停止時間は約4700時間であった。主に定検等でナトリウムがドレンされた時間である。
- (6) 2次補助循環ポンプのトリップ回数は4回で全て外部電源喪失によるものであった。
- (7) 補助冷却システムとしての運転結果は特に問題なく良好であった。

以上、過去5年間補助冷却システムは、良好な運転実績を残すことができた。今後照射炉心として100 MW運転を実施するにあたって、補助冷却システムは非常用炉心冷却設備として重要なシステムであるため、運転、保守に注意し良好なる運転実績を残すべき努力が必要である。

7. 参 考 文 献

- PNC SN941 75-48 1975年4月
高速実験炉「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置 (III)
補助冷却系2次ポンプのナトリウム中性試験
- PNC ZN941 76-11 1975年12月
高速実験炉「常陽」総合機能試験報告書
2次補助冷却系空気冷却設備に関する試験
- PNC ZN941 77-07 1977年1月
高速実験炉「常陽」総合機能試験報告書
2次補助冷却系統設備に関する試験 (ナトリウム中)
- PNC ZN941 77-133 1977年7月
高速実験炉「常陽」総合機能試験報告書
1次補助冷却系統試験 (ナトリウム中)

8. 参 考 図 面 集

- 8-1 1次補助冷却系配管
- 8-2 1次補助冷却系サイフォンブレイクラインスケルトン図
- 8-3 1次補助循環ポンプ組立図
- 8-4 補助中間熱交換器
- 8-5 補助中間熱交換器温度特性
- 8-6 1次補助冷却系電磁流量計
- 8-7 2次補助冷却系配管スケルトン図
- 8-8 2次補助系循環ポンプ構造図、冷却空気通路
- 8-9 2次補助冷却系循環ポンプダクト
- 8-10 補助空気冷却器補助送風機全体図
- 8-11 補助冷却系膨張タンク
- 8-12 補助空気冷却器組立図

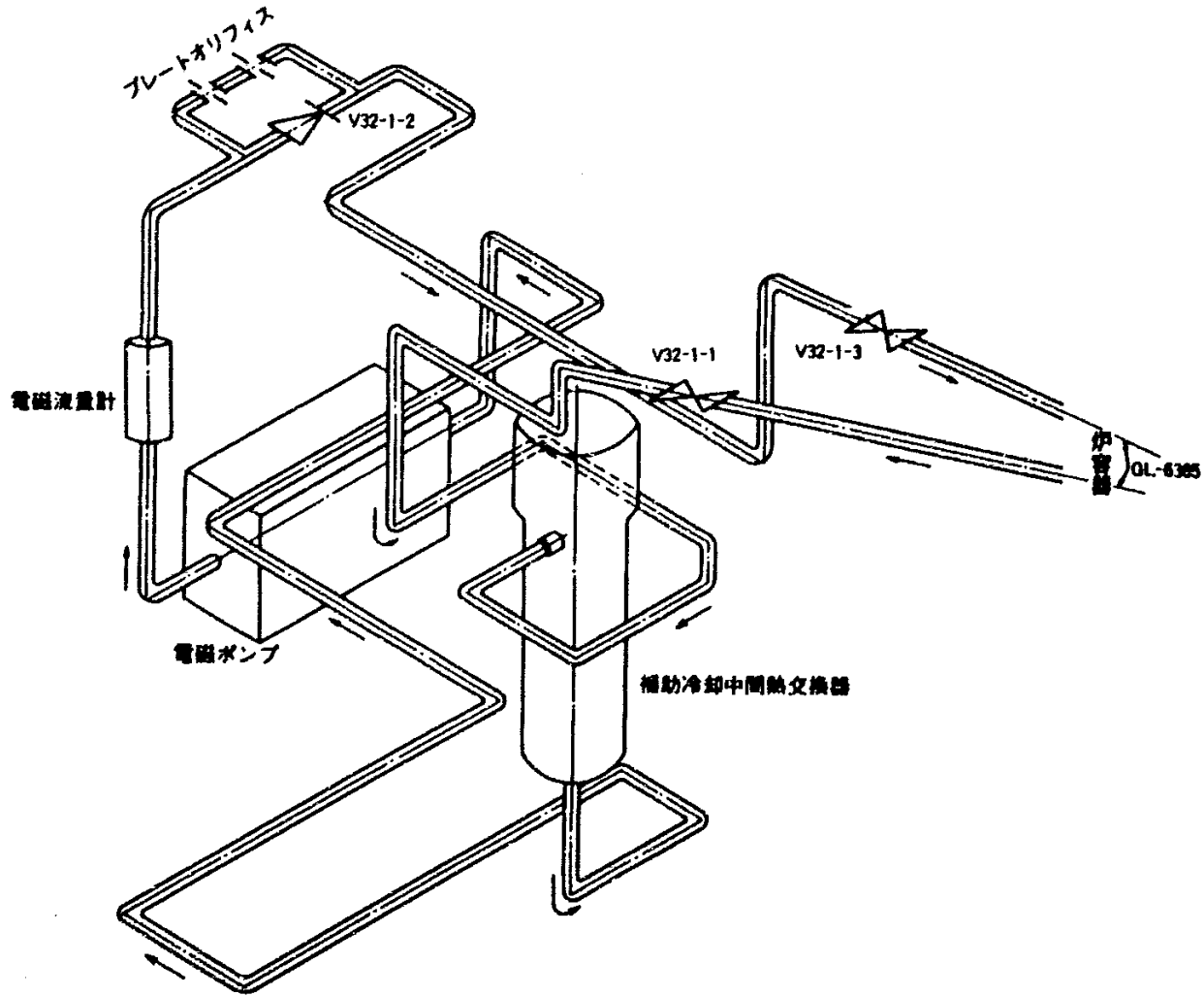


図 8-1 1次補助冷却系配管

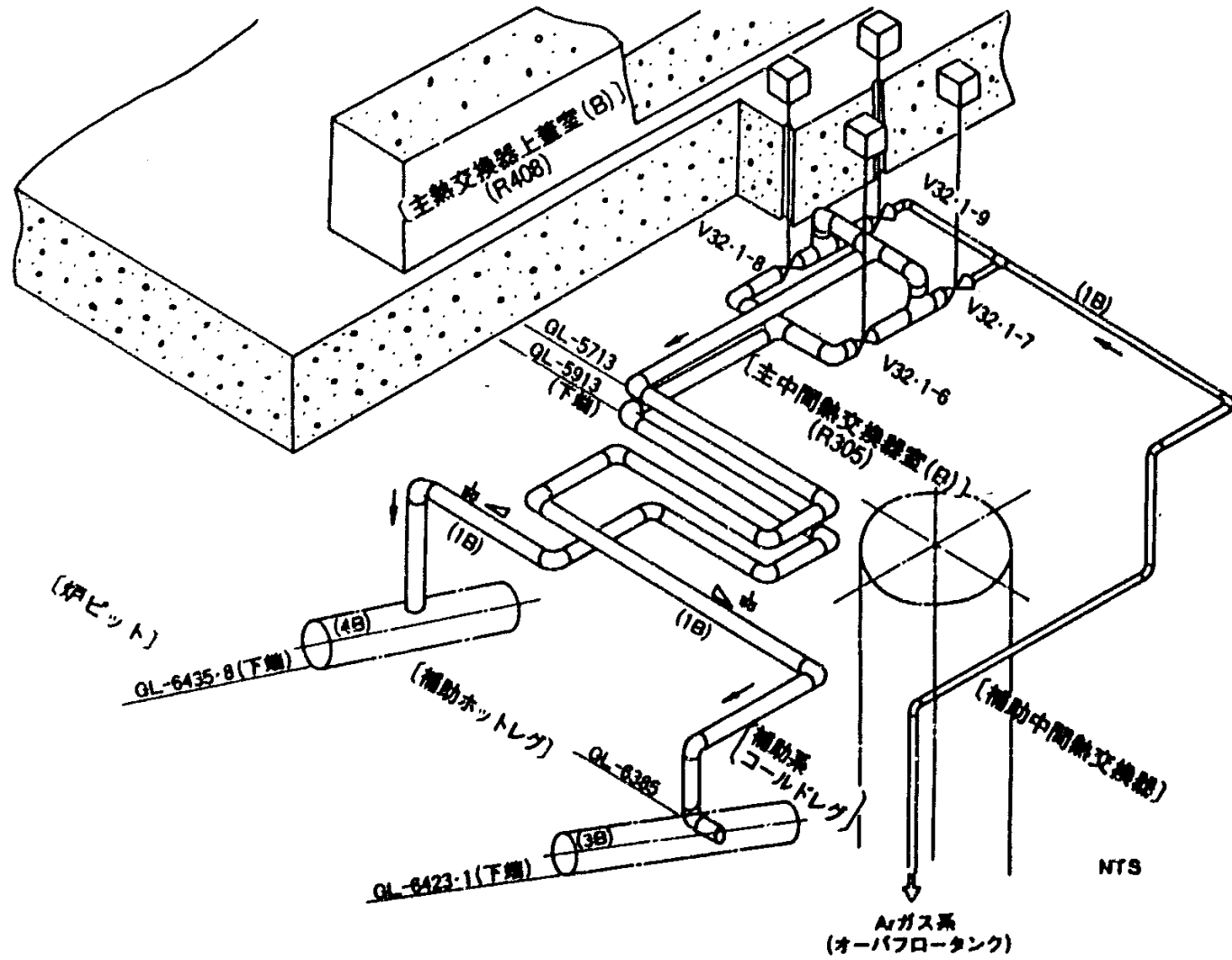
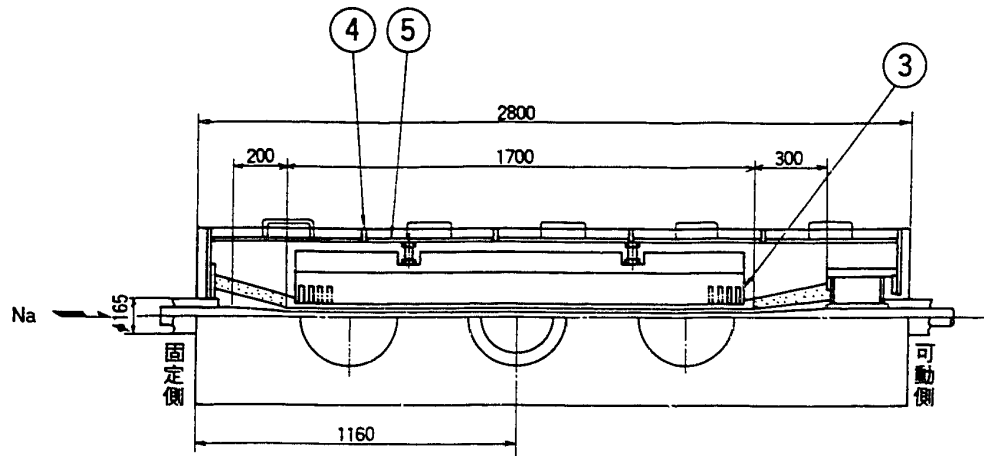


図8-2 1次補助冷却系サイフォンブレイクラインスケルトン図



項番	部品名	材質	備考
1	ポンプダクト	SUS304	
2	リークジャケット	SUS304	
3	固定子		
4	フレーム	SS41・SM41	
5	カバー	SS41・SM41A	
6	架台		
7	遮子箱		
8	保温層		
9	Na漏洩検出器		

項目	性能仕様
形式	FLJP(フラットリニアインダクション形)
液体	液体金属ナトリウム
流量	最大 56.5T/h 常用 約17.0T/h
補種	18m Na (370°C 56.5T/h)
設計温度	550°C
運転温度	370°C(入口)
設計内圧	1.9kg/cm ²
設計外圧	1.0kg/cm ²
設計ジャケット	1.0kg/cm ²
ダクト壁構造	二重壁
接続配管径	入口 4B, 出口 3B
冷却用N ₂ ガス	80Nm ³ /min圧力損失 200mmHg以下
遮子入力	150KVA 50Hz AC400 3φ

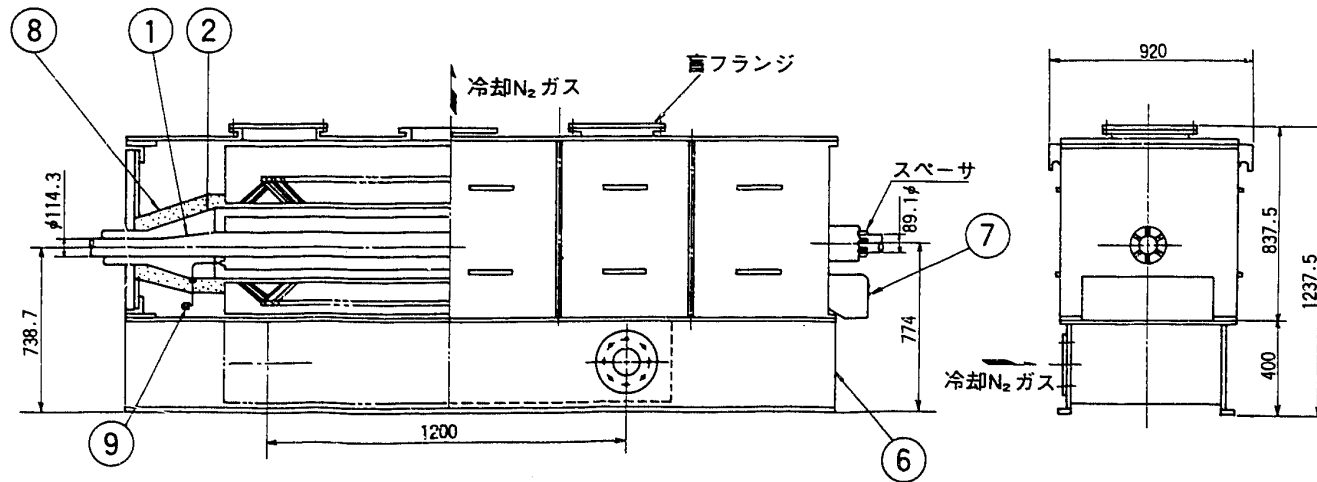


図 8-3 1次補助循環ポンプ組立図

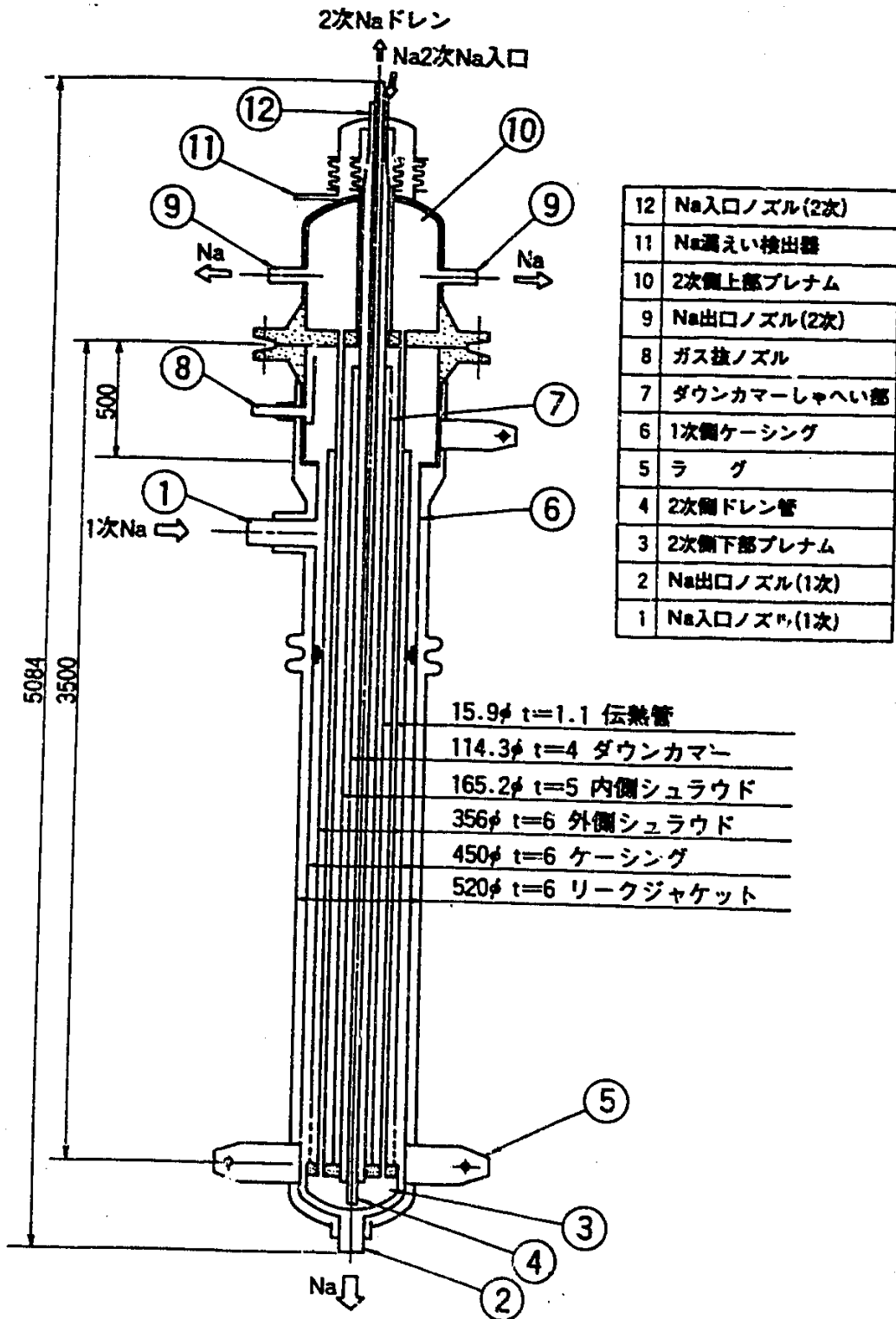


図 8-4 補助中間熱交換器

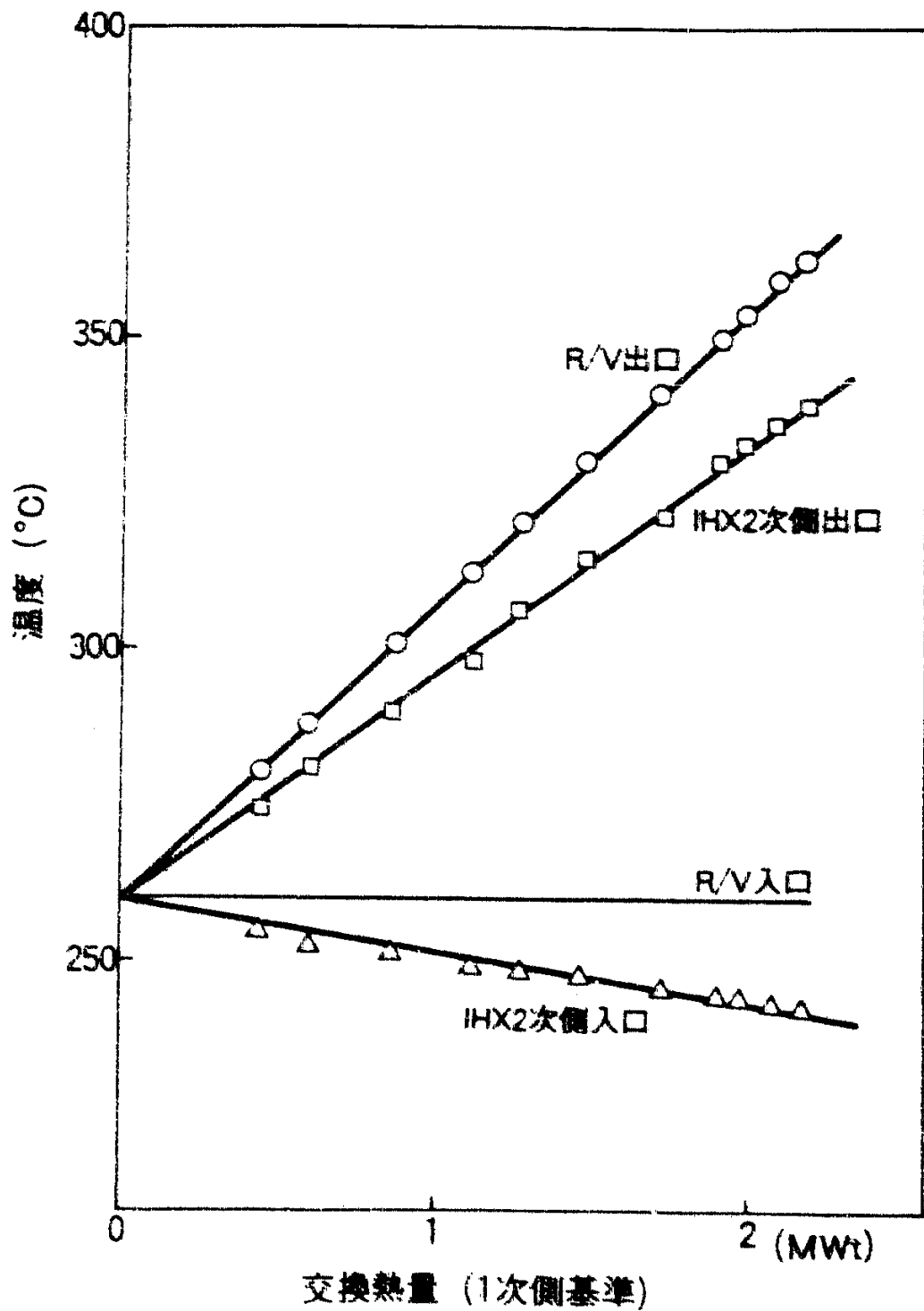


図8-5 補助中間熱交換器温度特性

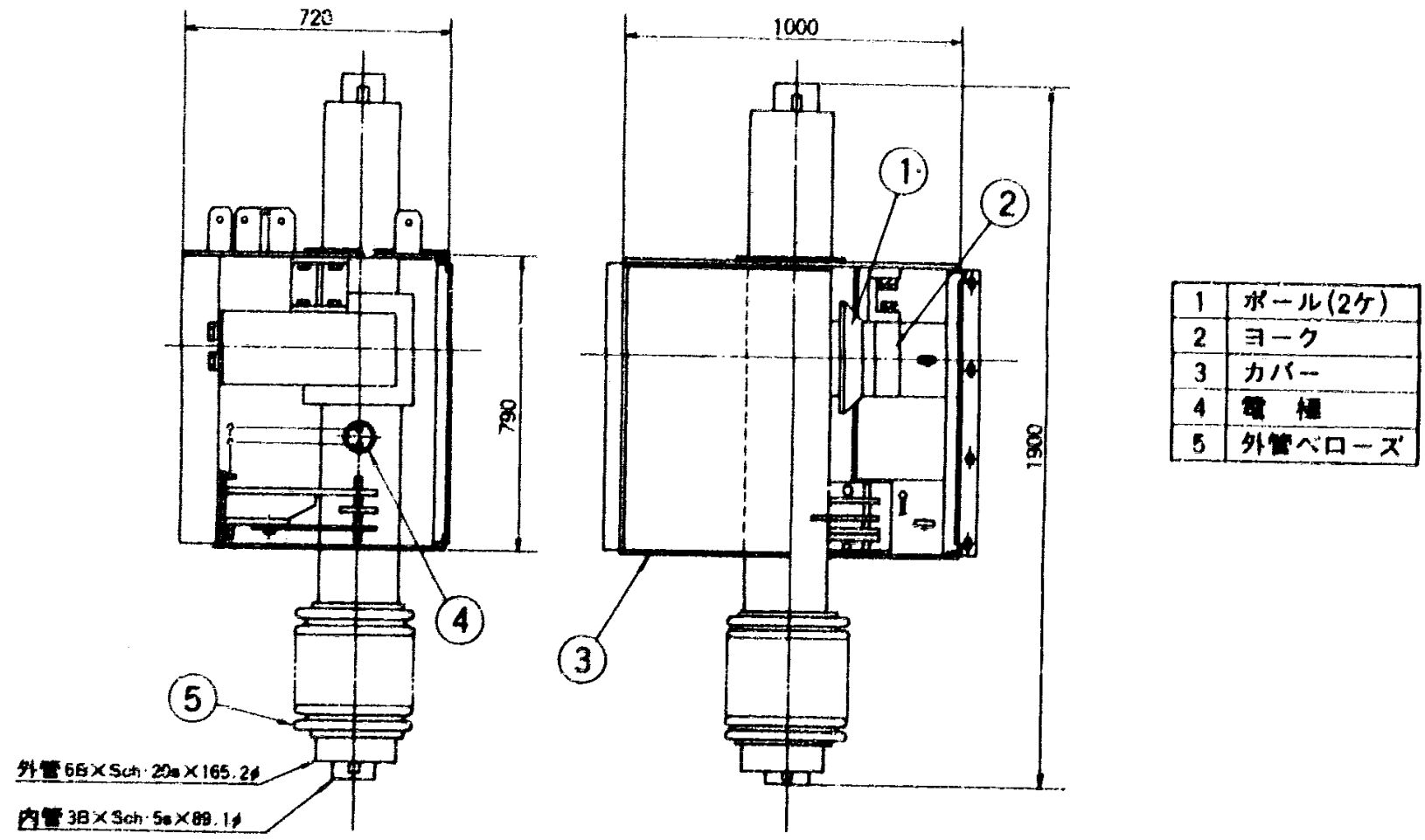


図 8 - 6 1次補助冷却系電磁流量計

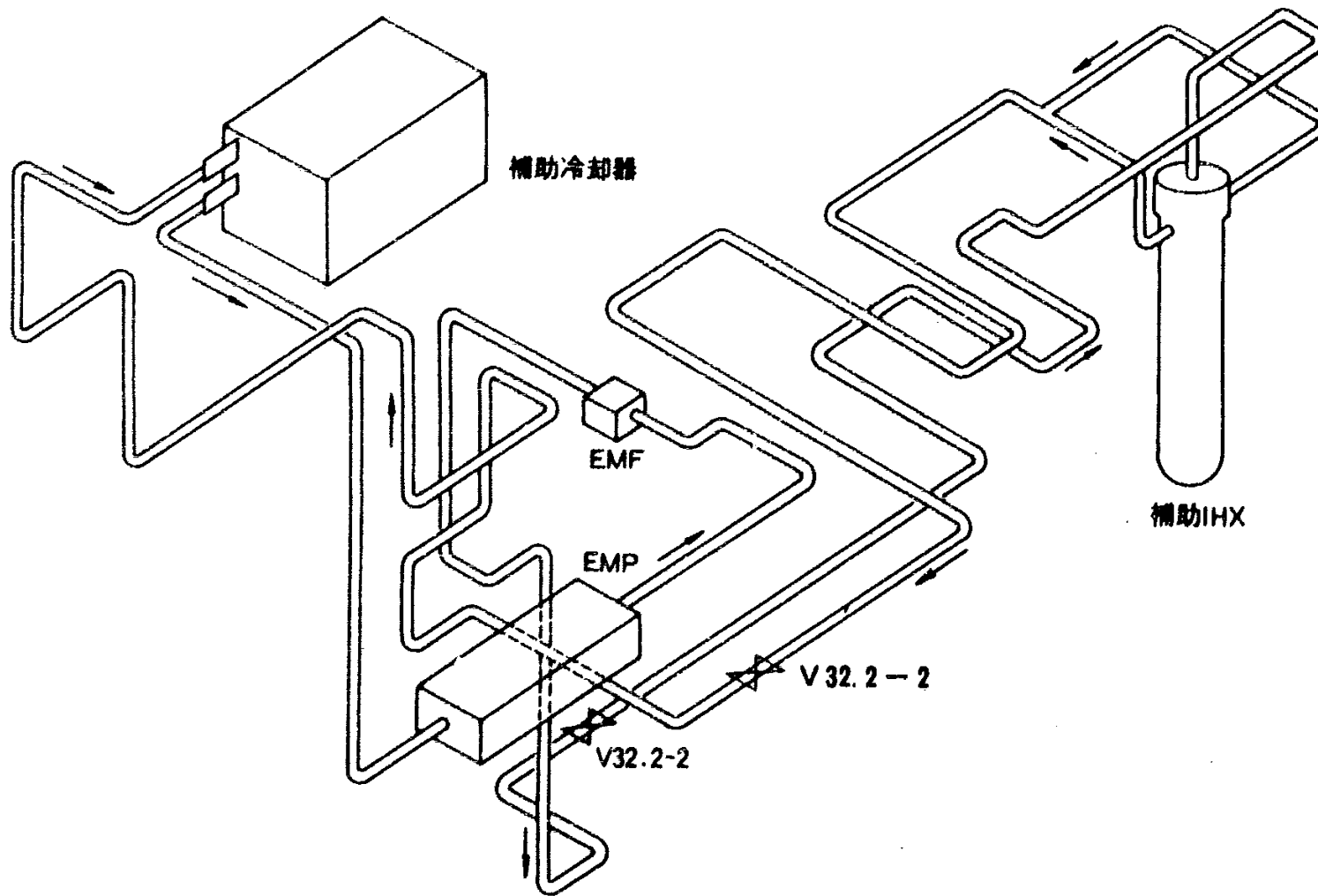


図8-7 2次補助冷却系配管スケルトン図

番号	名称
1	上部フレーム
2	下部フレーム
3	ダクト
4	リアモータ軸心
5	・ コイル
6	クランプ
7	ダクト固定支持台
8	冷却ファン
9	風筒壁
10	・
11	風筒蓋
12	ネトリクモリ用抽出用蓋子
13	ダクト固定支持棒
14	冷却空気通路

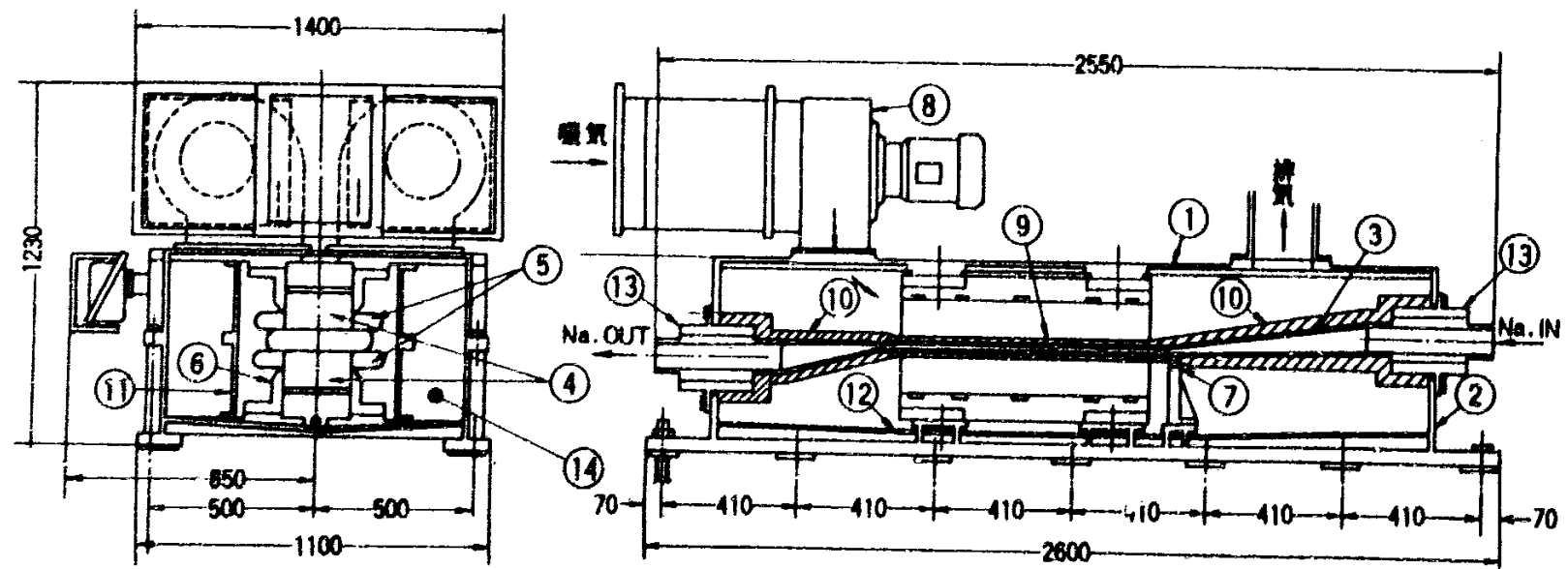
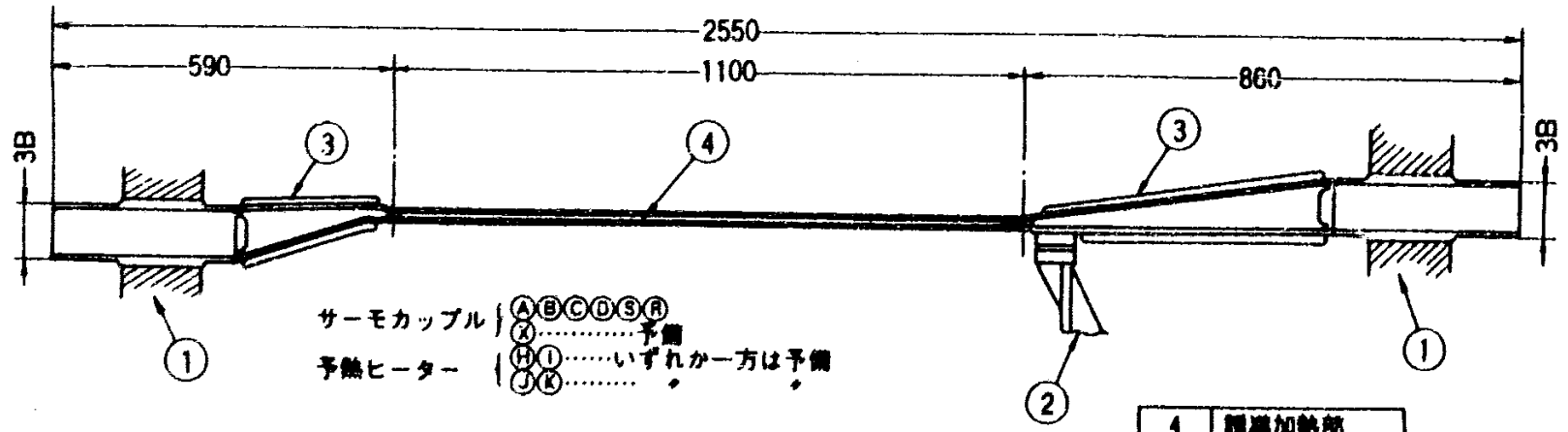
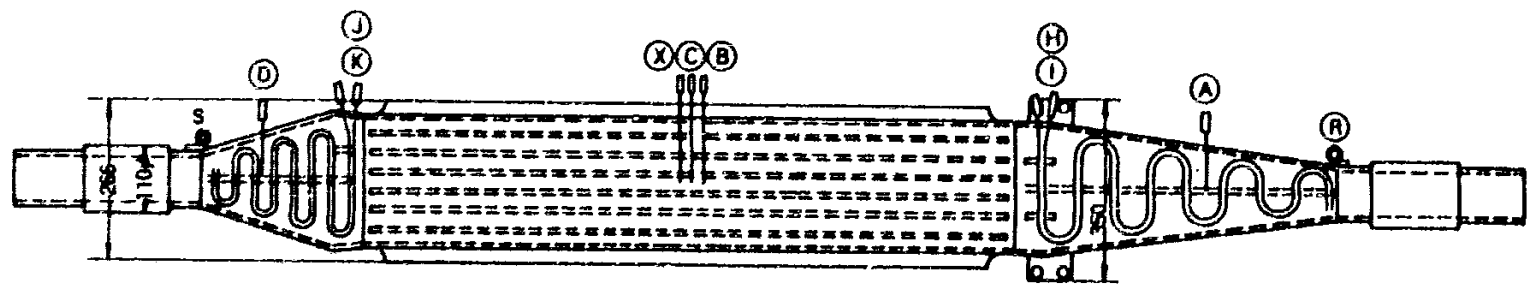


図 8-8 2次補助冷却系循環ポンプ構造図, 冷却空気通路



サーモカップル { A B C D S R }
 X 予備
 予熱ヒーター { H I いずれか一方は予備
 J K }

4	調温加熱部
3	予熱ヒーター
2	固定支持部
1	スライド支持部
品番	名称

図8-9 2次補助冷却系循環ポンプダクト

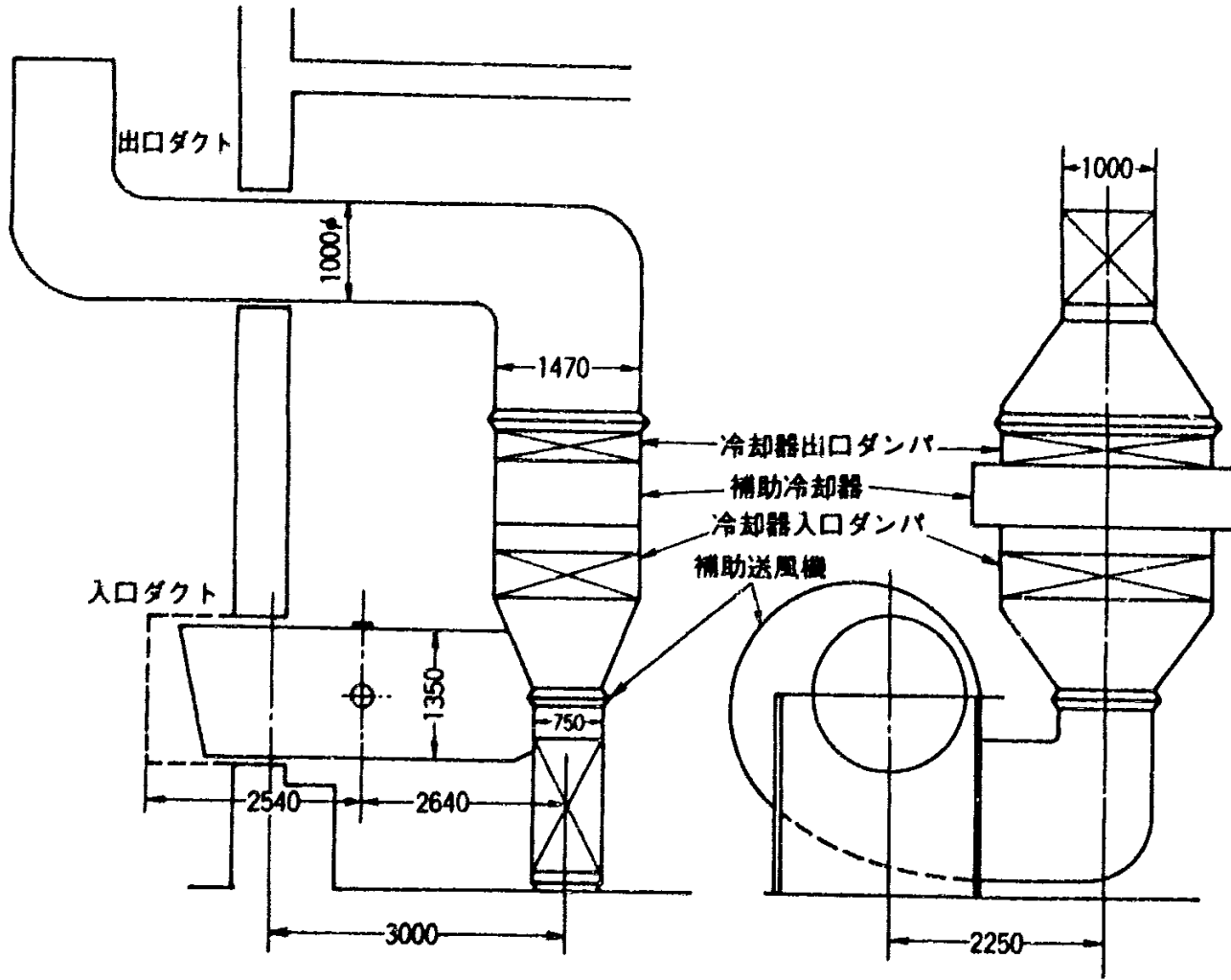
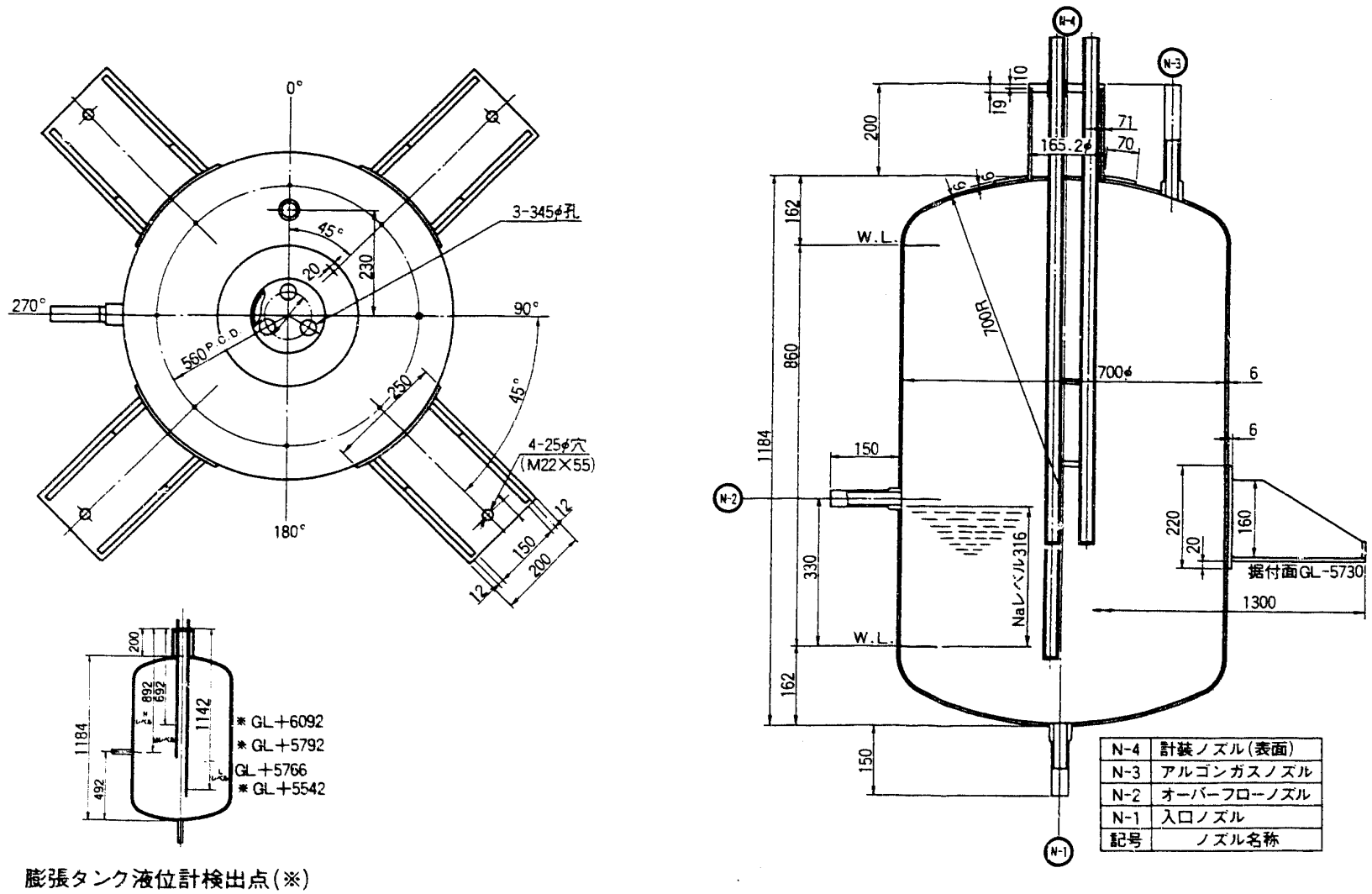


図8-10 補助空気冷却器補助送風機全体図



膨張タンク液位計検出点(※)

図 8 - 11 補助冷却系膨張タンク

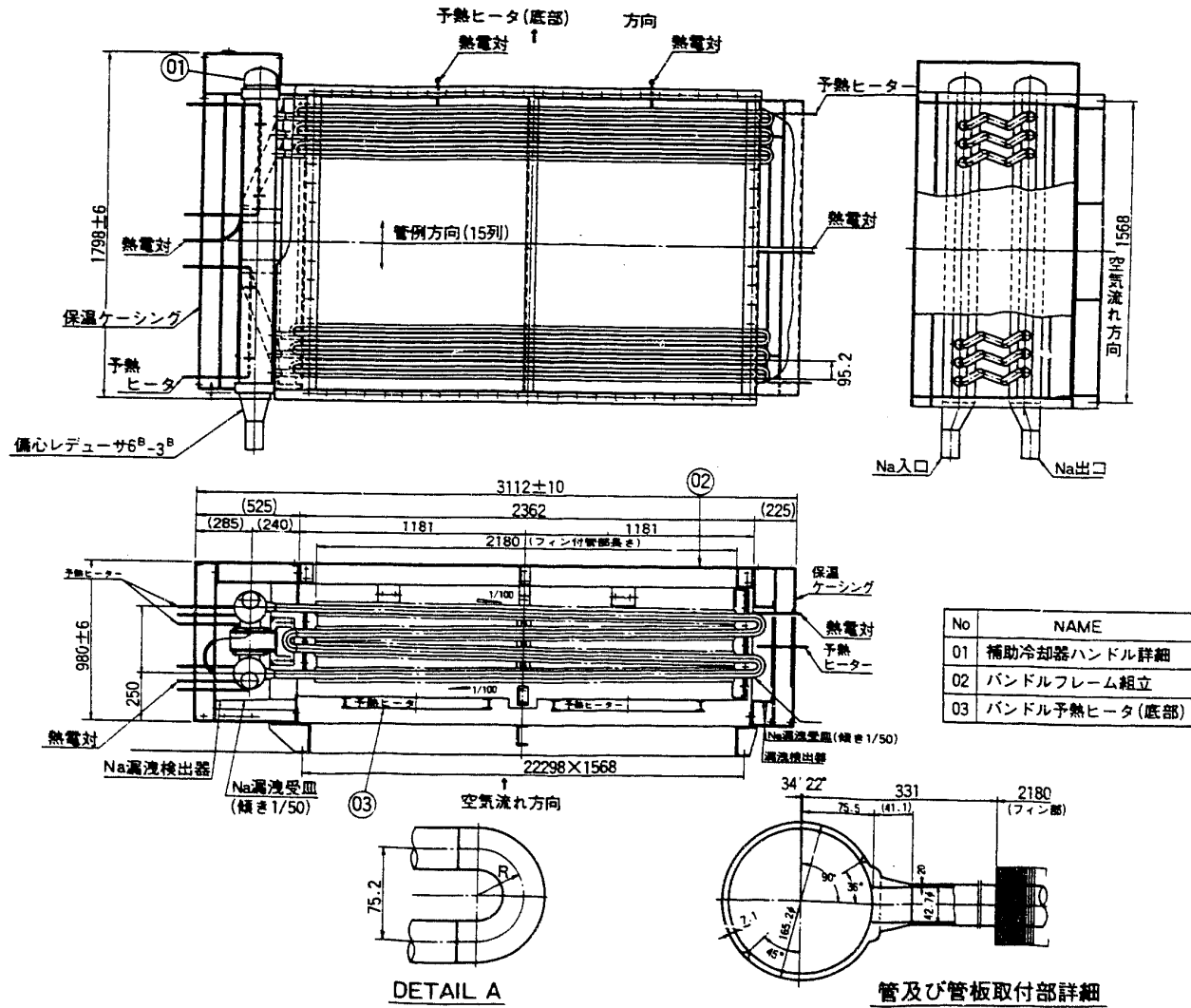


図 8 - 12 補助空気冷却器組立図