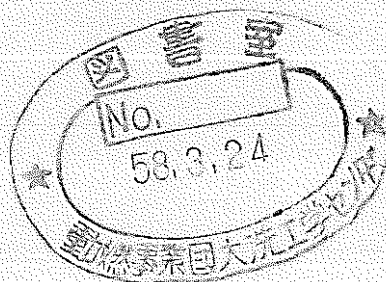


# 高速実験炉「常陽」運転試験報告書

## 1次主冷却系統運転経験

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N941 8Z-274
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	

1983年1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

## 1次主冷却系統運転経験

岡崎 芳昌\*      上田多生豊\*      吉川 進\*  
山下 芳興\*

## 要 旨

高速実験炉「常陽」の1次主冷却系統設備は、1976年2月のナトリウム初充填以来、1981年12月の原子炉熱出力75MW第6サイクル運転終了の計画停止までに、約52,000時間の運転実績を得た。その間1次主循環ポンプのシールブッシュ部、静圧軸受部の改造が実施されたが、改造後は特に大きなトラブルもなく順調な稼動を継続しており、原子炉の運転時間は12,800時間となり、主循環ポンプについては、38,000時間もの運転実績を得ることができた。今後100MWへの出力上昇においても、初期の機能を発揮するものと期待される。

本報告書は、1次主冷却系統設備の運転実績および、1次主循環ポンプの運転実績、改造履歴を統括的にとりまとめたもので、運転性および保守性の面から異常報告とその処置の履歴を整理して考察を行なったものである。

---

\* 高速実験炉部原子炉第一課

## Experimental Fast Reactor "JOYO" Operation Report

### Operation Results of Main Primary Cooling System

Y.Okazaki\*, T.Ueda\*, S.Kikkawa\*,  
and Y.Yamashita\*

#### Abstract

The main primary cooling system of Experimental Fast Reactor "JOYO" has experienced approximately 52,000 hours operation since the initial sodium charge in 1976 by the end of Reactor-Run 6 at 75MWt in Dec., 1981. In the meantime, though the primary sodium pumps were pulled out once and the labyrinth-bushes on shaft-seal assemblies, sodium bearings were remodeled, primary sodium pumps were operated for 38,000 hours satisfactorily. JOYO has achieved 12,800 hours of reactor operation, and will attain 100MWt reactor power after the core conversion work now in progress.

This report generally describes the operation history and results of main primary cooling system and primary sodium pumps.

---

\* Reactor Operation Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 1次主冷却系統設備の概要 .....	2
(1) 1次主循環ポンプ .....	2
(2) 主中間熱交換器 .....	4
3. 1次主冷却系統設備の運転実績 .....	10
4. 1次主循環ポンプの運転実績 .....	37
5. 1次主循環ポンプの改造 .....	54
(1) ポンプ軸とシールブッシュ部の噛り付き防止対策 .....	54
(2) 軸受改造 .....	54
(3) 制御回路の改造 .....	55
6. 1次主冷却系統設備の問題点とその対策 .....	60
6.1 運転実績からの評価 .....	60
6.2 系統機器の本質的な問題点 .....	60
(1) 電圧変動に弱いセルビウス制御装置 .....	60
(2) 炉容器オーバーフロー配管の熱衝撃 .....	61
(3) 炉容器液面計の測定範囲 .....	61
7. 結 言 .....	68
8. 参考文献 .....	69

## 1. 緒 言

高速実験炉「常陽」の1次主冷却系統設備は、1976年2月のナトリウム充填以来、原子炉熱出力75MW第6サイクル運転終了（1981年12月末）までに約5年10ヶ月（51,672時間）の運転実績を得た。その間、1次主循環ポンプのポンプ軸とシールブッシュ間の嚙り付きが生じたために、ポンプシールブッシュ部の改造および1次冷却系圧損による軸受の損傷防止のために静圧軸受部の改造が施こされたが、改造後は大きなトラブルもなく1977年4月24日に初期臨界を達成して以来、原子炉熱出力50MW第1、第2.75MW第1～第6サイクル運転と順調な稼動を継続し、1982年からのマークII（照射用）炉心への準備がなされている。今後100MWへの出力上昇においても初期の機能を発揮するものと期待される。

本報告書は、1次主循環系統設備の運転実績および1次主循環ポンプの運転実績、改造履歴を統括的にとりまとめたもので、運転性および保守性の面から異常報告とその処置の履歴を整理して考察を行なったものである。

## 2. 1次主冷却系統設備の概要

1次主冷却系は原子炉で発生した熱を冷却材ナトリウムより除去する系統で2ループからなる。

図2-1に示すように、ナトリウムは主循環ポンプにより吐出され、電磁流量計を通過した後、炉容器高圧プレナムへと導びかれる。高圧プレナムからは温度370℃のナトリウムが炉心領域を下方より上方へ流れる。一方高圧プレナムから低圧プレナムへ分流された370℃の冷却材は炉心部周辺領域を上方に流れ、炉容器上部で炉心からのナトリウムと合流する。ナトリウムは炉容器上部壁に対称に設けられた2本の配管より流出し、各々の主中間熱交換器の胴側に入り、管側の非放射性ナトリウムと熱交換を行なって370℃に冷却され、主循環ポンプへ戻る。一方オーバーフロータンクからは電磁ポンプによりナトリウムを汲み上げ、炉容器上部壁ノズルから炉内に注入される。炉容器内の余分なナトリウムは、反対側上部壁のノズルから流出し、重力によりオーバーフロータンクへ流下する。これにより系統および1次主循環ポンプの運転状態に無関係に1次系機器のナトリウム液面は、一定に保たれる。系統の電源喪失事故時には自然循環により崩壊熱除去が出来る。図2-2に原子炉容器ナトリウム液位容積線図を示す。

### 1次主冷却系主要目

	(照射用炉心)	(増殖炉心)
原子炉からの伝熱量	100 MWt	75 MWt
全 流 量	約 2,200 t/h	約 2,200 t/h
ル ー プ 数	2	2
1ループ当りの流量	約 1,100 t/h	約 1,100 t/h
運 転 温 度		
原子炉入口	370 ℃	370 ℃
原子炉出口	約 500 ℃	約 470 ℃
設 計 温 度		
ホットレグ	550 ℃	550 ℃
コールドレグ	450 ℃	450 ℃

#### (1) 1次主循環ポンプ

各1次主冷却ループに冷却材を循環させるための主循環ポンプを1台ずつ設けている。また、ポンプ内ナトリウム液面を一定に保つためにオーバーフローコラムを設けている。主循環ポンプは、図2-3に示す縦軸自由液面型遠心ポンプであり、ポンプ本体（内部構造）と本体を収めた外ケーシングから成っている。ポンプ本体は、インペラ、ディフューザ、軸、軸受、軸封機構、熱遮蔽及びガンマ線遮蔽プラグ等が組立てられたもので、メンテナンス時には、配管溶接された外ケーシングの液体ナトリウムに接する部分は、ジャケットで覆う二重構造とし、ポンプ予熱及び万一ナトリウム保持ができるようになっている。主中間熱交換器出口から、ポンプに流れてきたナトリウムは、外ケーシングの吸込口からポンプに入り、インペラによって加圧され、ディフューザを通り高圧室に入り吐出口から流出する。高圧ナトリウムの一部はポンプ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ナトリウム液面を一定に保つために設けたオーバーフローノズルからオーバーフローコラムへ流れる。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される。このメカニカルシール及びポンプ上部のころがり軸受は潤滑油により潤滑されている。潤滑油装置はアルゴンカバーガスが外気に漏洩しないよう密閉回路とし、また潤滑油がナトリウム中に浸入しないよう考慮されている。ポンプ上部には軸継手を介して駆動用主電動機を取付けている。ポンプの流量は主電動機の回転数制御により行ない、その範囲は20～100%連続的可変である。ポンプ駆動電源が喪失すると、ポンプ回転数は約10秒の時定数で慣性降下して非常用電源駆動のポニーモーターに引継がれ余熱除去を行なう。

### 1 次主循環ポンプ主要目

#### ポンプ

型 式	堅軸自由液面型遠心式	
数 量	2 基	
容 量	定格流量	1,085.6 t/h
運 転	設計温度	370/450 ℃
	定格揚程	70 mNa
主要寸法	全高（入口ノズル端～カップリング上端）	6,400 mm
	外ケーシング内径	1,200 mm
	据付フランジ径	1,850 mm
	回転軸代表寸法（外径）	250 mmφ
	入口ノズル径（下向吸込）	18 Bsch 20
	出口ノズル径（水平吐出）	12 Bsch 20
回 転 数	930 rpm	
流量調節範囲	約20%以上連続可変	
ポンプコストダウン時定数（電動機と結合した状態で）	10秒以上	

#### 主電動機

型 式	堅軸三相誘導電動機	
数 量	2 基	
容 量	定格出力	330 kW
回 転 数	定 格	930 rpm
電 圧	3,000 V	
電 流	（定格で）	約 89 A
周 波 数	50 Hz	
極 数	6	



2次側	最大電圧	約 620 V
	電 流	約 380 A
絶縁種別		F種
制御方式		静止セルビウスによる回転数制御
ポニーモータ		
型 式		堅軸直流電動機
数 量		2 基
容 量	定格出力	2.2 kW
回 転 数	定 格	130 rpm
電 圧		100 V

(2) 主中間熱交換器

主中間熱交換器は図 2-4 に示すような縦形自由液面式シェルアンドチューブ形熱交換器である。1次冷却材は胴側側面の1次入口ノズルから流入し、管群の間をとおって下向きに流れ胴側下方の出口ノズルから流出する。2次冷却材は上端中央入口ノズルから下降管をとおって下部プレナムに入り伝熱管内を上部プレナムをとおって上端のノズルから出る。主中間熱交換器は、保守点検が容易なように内部のみ抜出せるプラグ式となっている。伝熱管の熱応力は下部プレナムの軸方向変位を可能とすることによって、また外胴、ノズルの熱遮蔽板を設けることによって緩和される。

主中間熱交換器主要目

	(A)	(B)
形 式	たて形自由液面シェルアンド チューブ形	たて形自由液面シェルアンド チューブ形
数 量	1 基	1 基
主要寸法		
1次側胴体	内径	
	上 部	2,300 mm
	下 部	1,740 mm
	高さ	6,940 mm
	板厚	
	上部胴体	19 mm
	下部胴体	16 mm
	下部鏡板	16 mm
伝 熱 管	外径	15.9 mm
	板厚	公称 1.1 mm, 最少 1.0 mm
	本数	2,835 本
	長さ	4,000 mm
設計圧力	胴部	1 kg/cm <sup>2</sup> g

	管部	5 kg/cm <sup>2</sup> g	5 kg/cm <sup>2</sup> g
設計温度		550 ℃	550 ℃

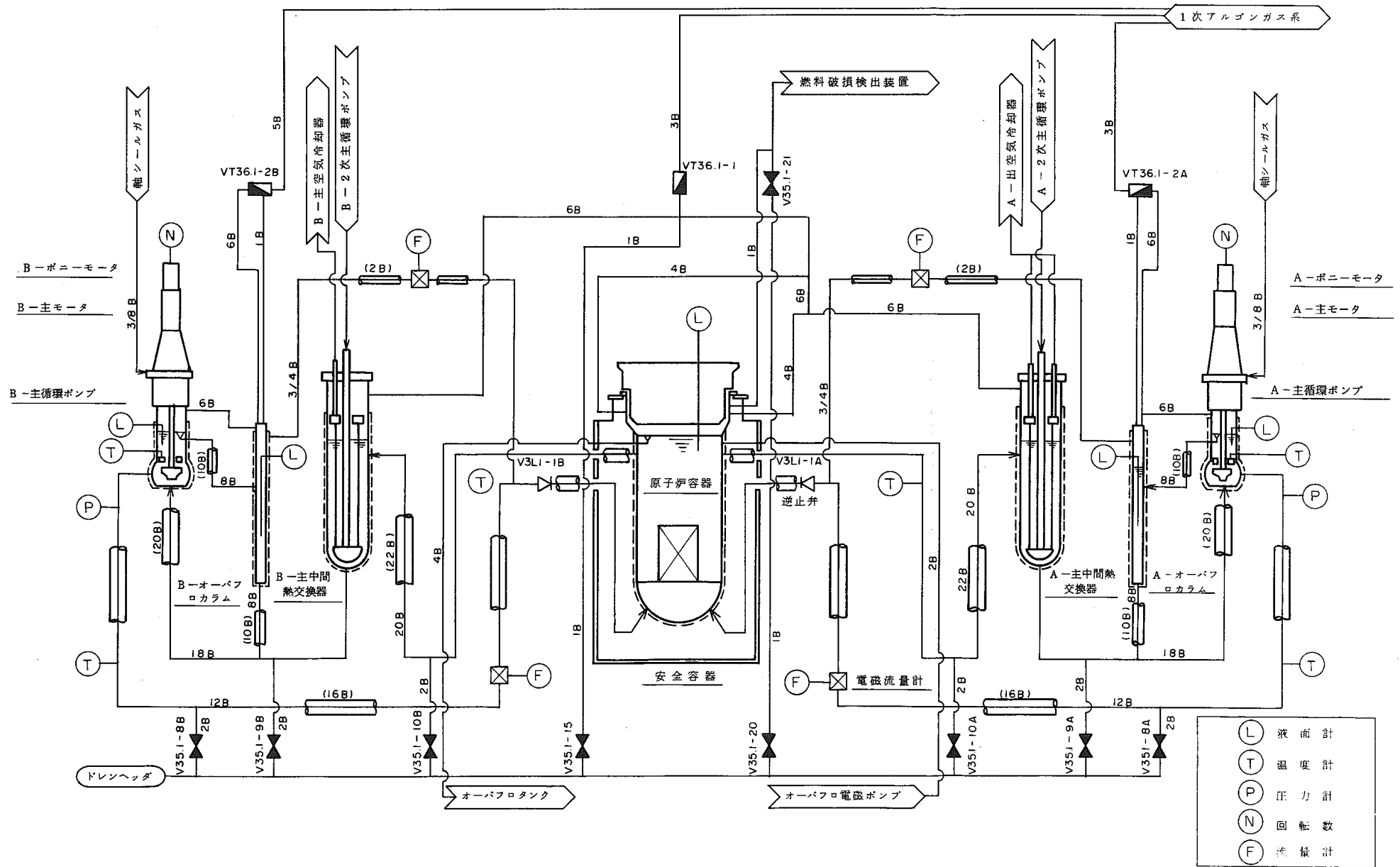


図2-1 1次主冷却系系統図

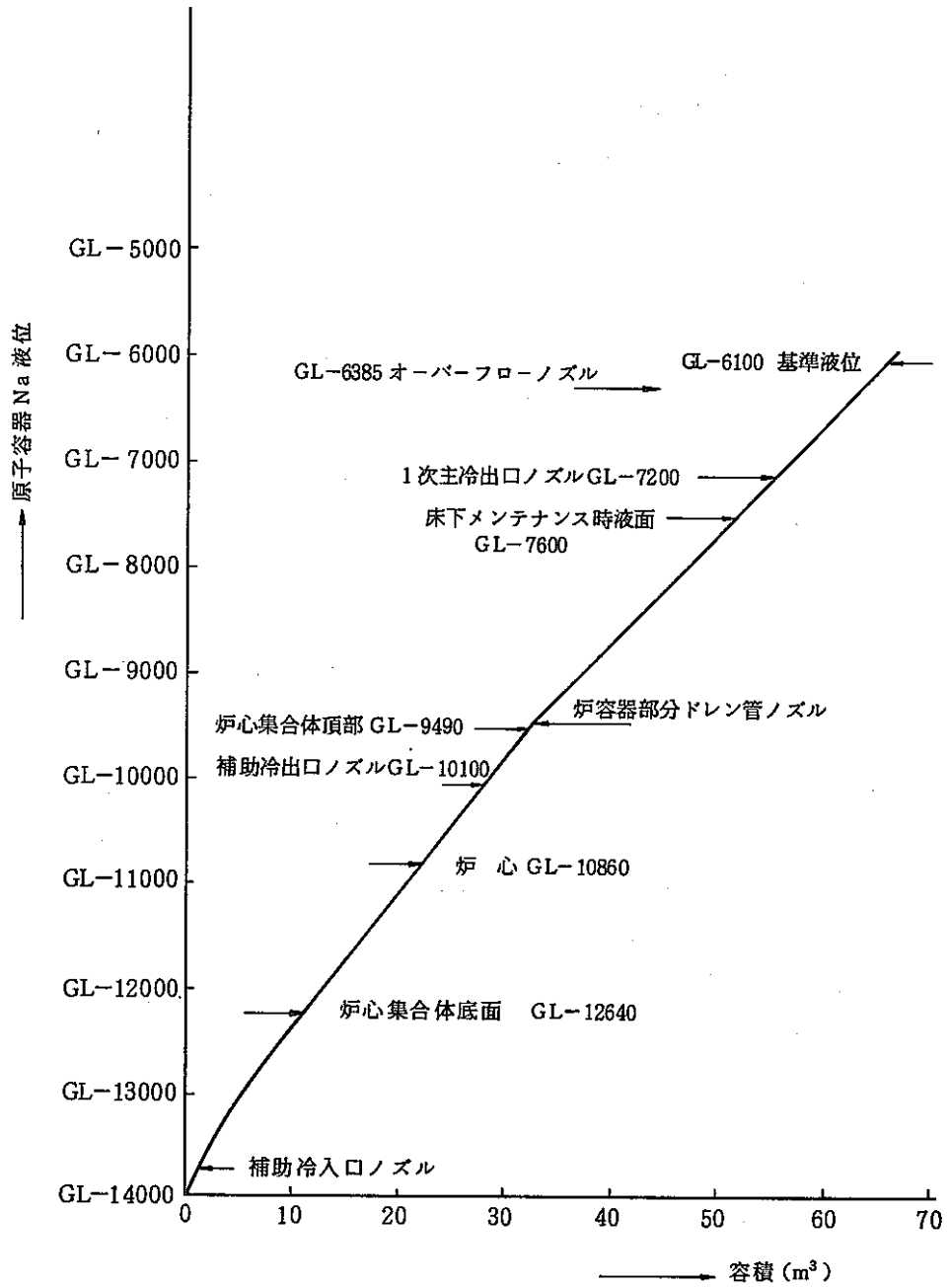


図 2 - 2 原子炉容器 Na 液位容積線図

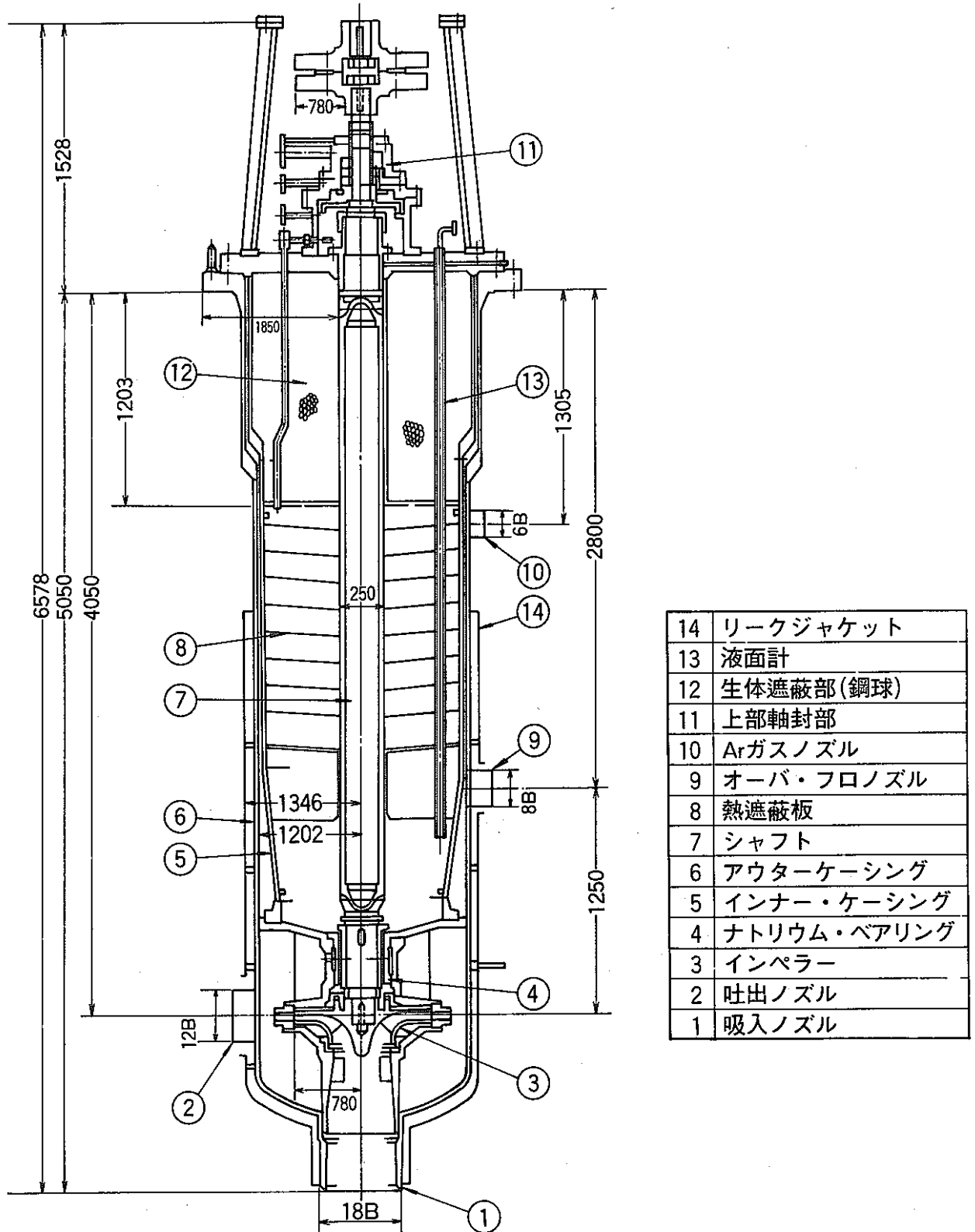
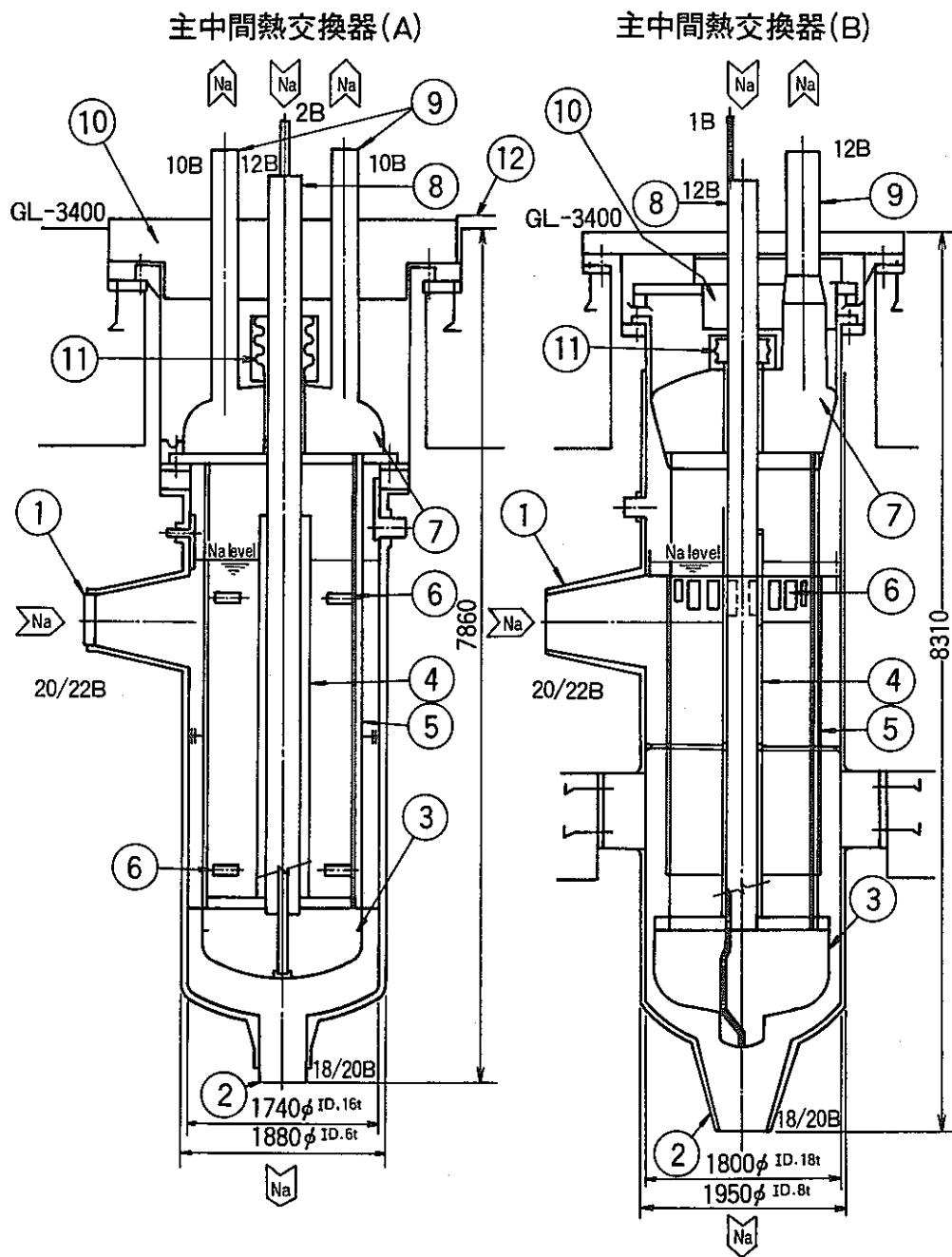


図2-3 1次主循環ポンプ組立図



6	内 胴 窓	12	漏洩検出器
5	外側シュラウド	11	ベローズ
4	内側シュラウド	10	シャハイ体
3	2次側下部プレナム	9	2次ナトリウム出口ノズル
2	1次ナトリウム出口ノズル	8	2次ナトリウム入口ノズル
1	1次ナトリウム入口ノズル	7	2次側上部プレナム

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

図 2 - 4 主中間熱交換器形状 比較

### 3. 1次主冷却系統設備の運転実績

高速実験炉「常用」の1次主冷却系統設備は、1976年2月のナトリウム初充填以来、総合機能試験、臨界近接試験、低出力試験、50MW定格第1、第2サイクル運転、75MW性能試験等を経て75MW定格第6サイクル運転を終了した1981年12月末までに約52,000時間の運転実績を得た。その中において1次系へのナトリウム充填状態であったのは約、40,000時間で、主ポンプ軸受改造および床下機器等のメンテナンスを行なう為にダンプタンクへの1次系ナトリウムのドレンが実施されたのは、約12,000時間である。

1次系の運転実績の詳細を図3-1(1)～(24)に示す。

表3-1に1次系の運転実績を年別に示す。

1次系へのナトリウム初期充填からの主要イベントは次のとおりである。

51年2月8日：1次系へのナトリウム初充填が開始された。

51年2月24日：ナトリウム充填後、最初の主ポンプ直結運転が開始された。（1次主ポンプ50%流量で1次系配管のフラッシング運転を56時間実施した。）

51年7月22日：総合機能試験、1次系主配管破損模擬試験終了後1次主ポンプ（A号機）の静圧軸受シールブッシュ部のスティックが発生した。（52年1月6日までA、B主ポンプ軸受改造のため停止）

52年3月16日：臨界近接試験が開始された。

52年4月24日：11時07分初期臨界を達成した。

52年5月20日：低出力試験が開始された。

53年4月18日：出力上昇試験が開始された。

53年7月5日：50MWに到達した（14時34分）

53年10月27日：50MW定格第1サイクル運転開始

54年1月12日：50MW定格第2サイクル運転開始

54年3月16日：75MW炉心構成作業開始

54年5月16日：特別保安監査および50MW性能確認試験が開始された。

54年7月3日：75MW出力上昇試験、75MW性能試験が開始された。

55年1月16日：75MW定格第1サイクル運転開始

55年3月19日：照射用炉心構成作業開始

55年5月8日：75MW定格第2サイクル運転開始

55年7月14日：75MW定格第3サイクル運転開始

56年3月12日：75MW定格第4サイクル運転開始

56年6月16日：75MW定格第5サイクル運転開始

56年9月29日：自然循環予備試験開始

56年11月4日：75MW定格第6サイクル運転開始

56年12月15日：熱出力30MWからの自然循環試験実施

56年12月23日：熱出力75MWからの自然循環試験実施とともにマークI（増殖）炉心での運転を終了した。



表3-1 1次主冷却系運転実績

単位 (H)

項目 \ 年	S. 51 年	S. 52 年	S. 53 年	S. 54 年	S. 55 年	S. 56 年	累 積
総 運 転 経 過 時 間	7,848	8,760	8,760	8,760	8,784	8,760	51,672
ナトリウム充填状態時間	2,880	7,968	6,552	6,360	7,608	8,016	39,384
ナトリウムドレン状態時間	4,968	792	2,208	2,400	1,176	744	12,288
コールドレグ 370℃ 運転状態時間	—	—	3,044	2,496	2,964	3,466	11,970
コールドレグ 370℃ 以外の運転 状態時間 (除くドレン状態)	2,880	7,968	3,508	3,864	4,644	4,550	27,414
75 MW 出力 運転状態時間 (ホットレグ 468℃)	—	—	—	193.4	2,681.3	2,838.05	5,712.75
50 MW 出力 運転状態時間 (ホットレグ 435℃)	—	—	1,397.2	1,208	163.2	448	3,216.4
その他の運転状態時間*	—	360.82	1,983.5	802.6	358.1	427.07	3,932.09

\* 特殊運転, 臨界保持等

51-1																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
											冷却系組合せ試験 (予熱試験等)																			
51-2																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
											冷却系組合せ試験 (予熱試験等)										<p>1次主P運転開始 50% 10:50 19:05 系統フラッシング ストレーナ取外し プロセス計装校正 Naドレン</p>									
											配管温度測定 及びNa充填及びドレン試験 Na 充填 Na ドレン Na 充填										弁開閉試験 主P停止時サイフォン ブレーカ作動試験									
51-3																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
											ストレーナ取外し, 逆止弁取付										<p>100% 主Pインターロック試験 10:30 (CB試験位置) 速度制御試験</p>									
											Na ドレン																			

図3-1(1) 1次主冷却系運転実績の詳細

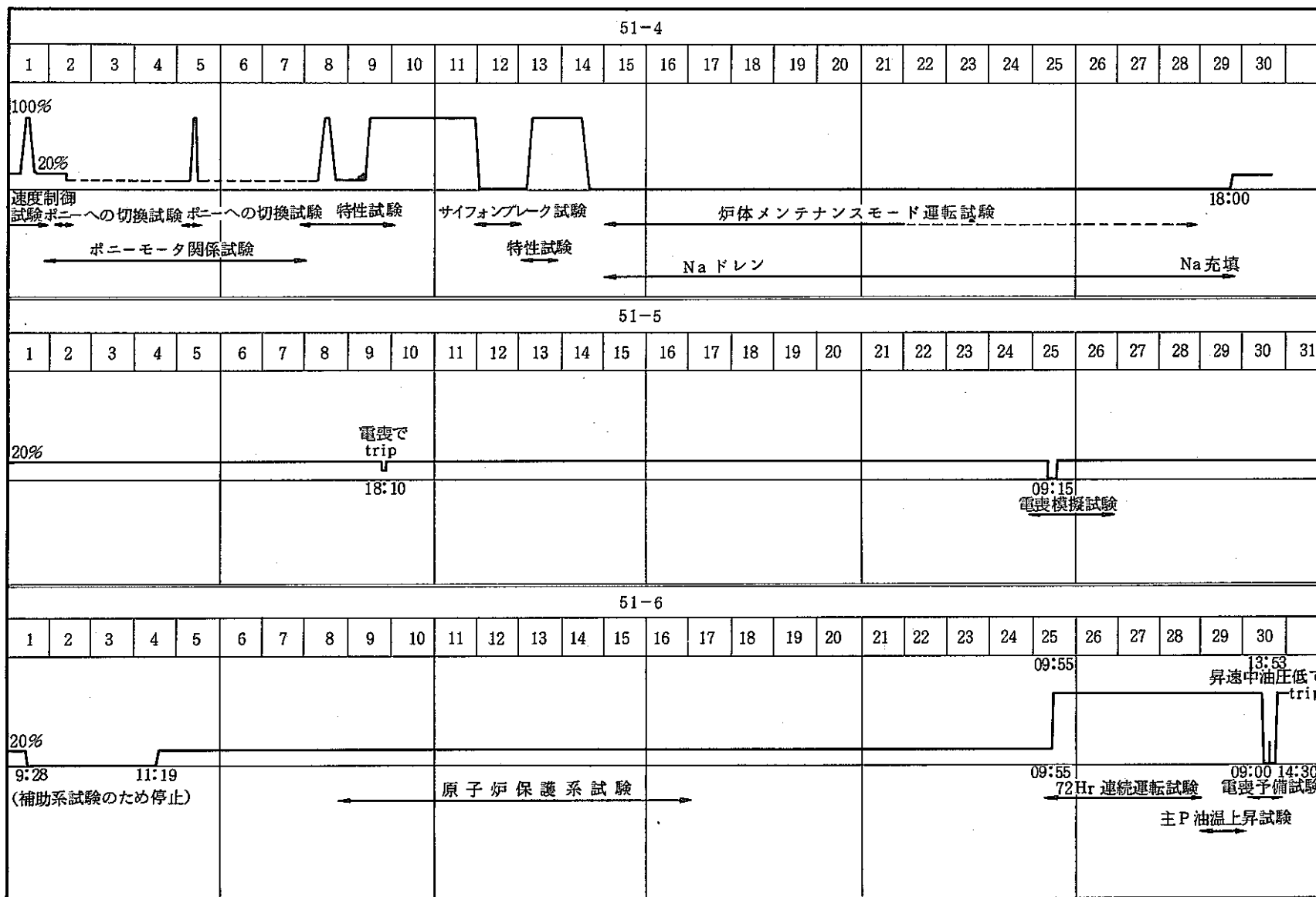


図3-1(2) 1次主冷却系運転実績の詳細

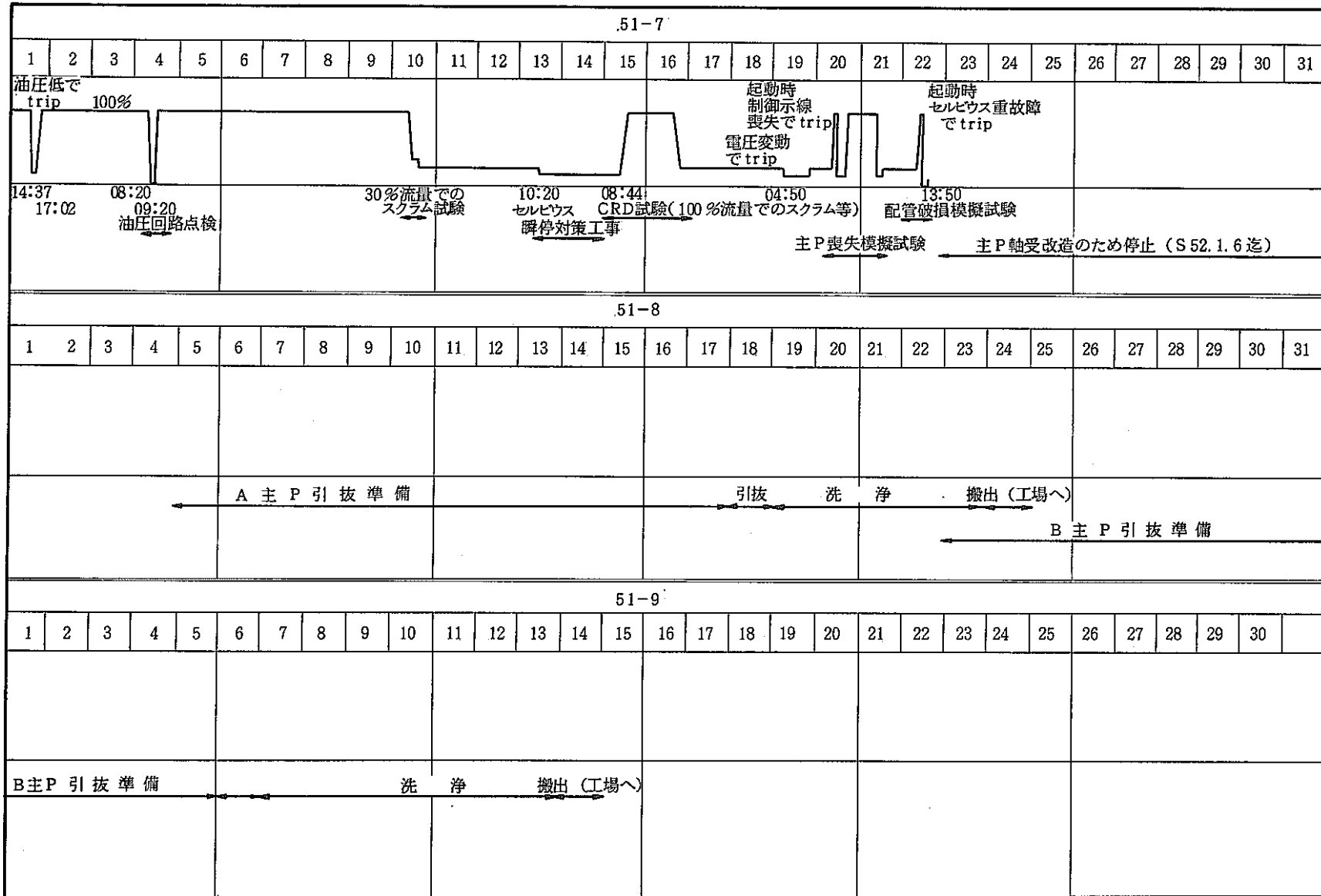


図3-1(3) 1次主冷却系運転実績の詳細

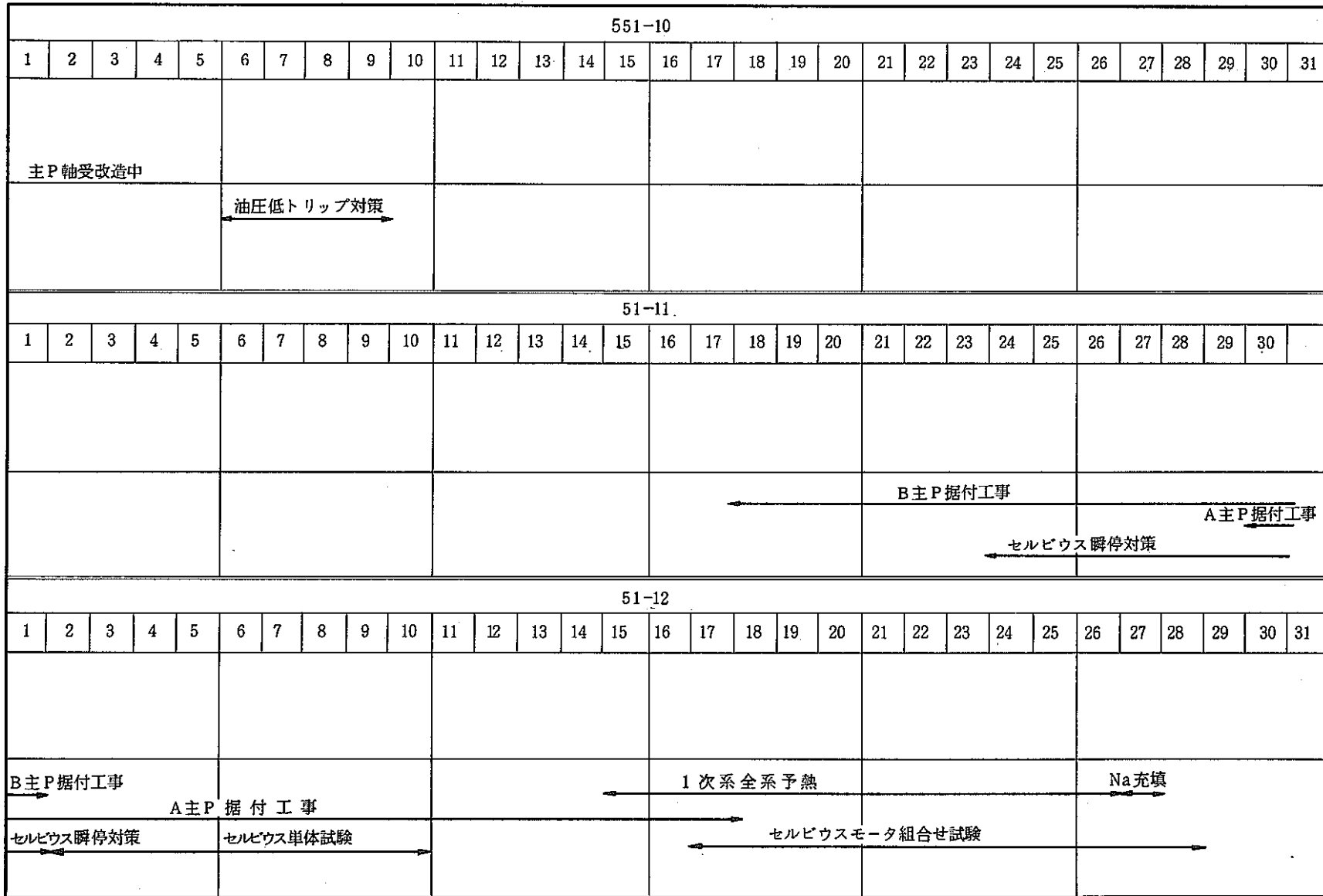


図3-1(4) 1次主冷却系運転実績の詳細

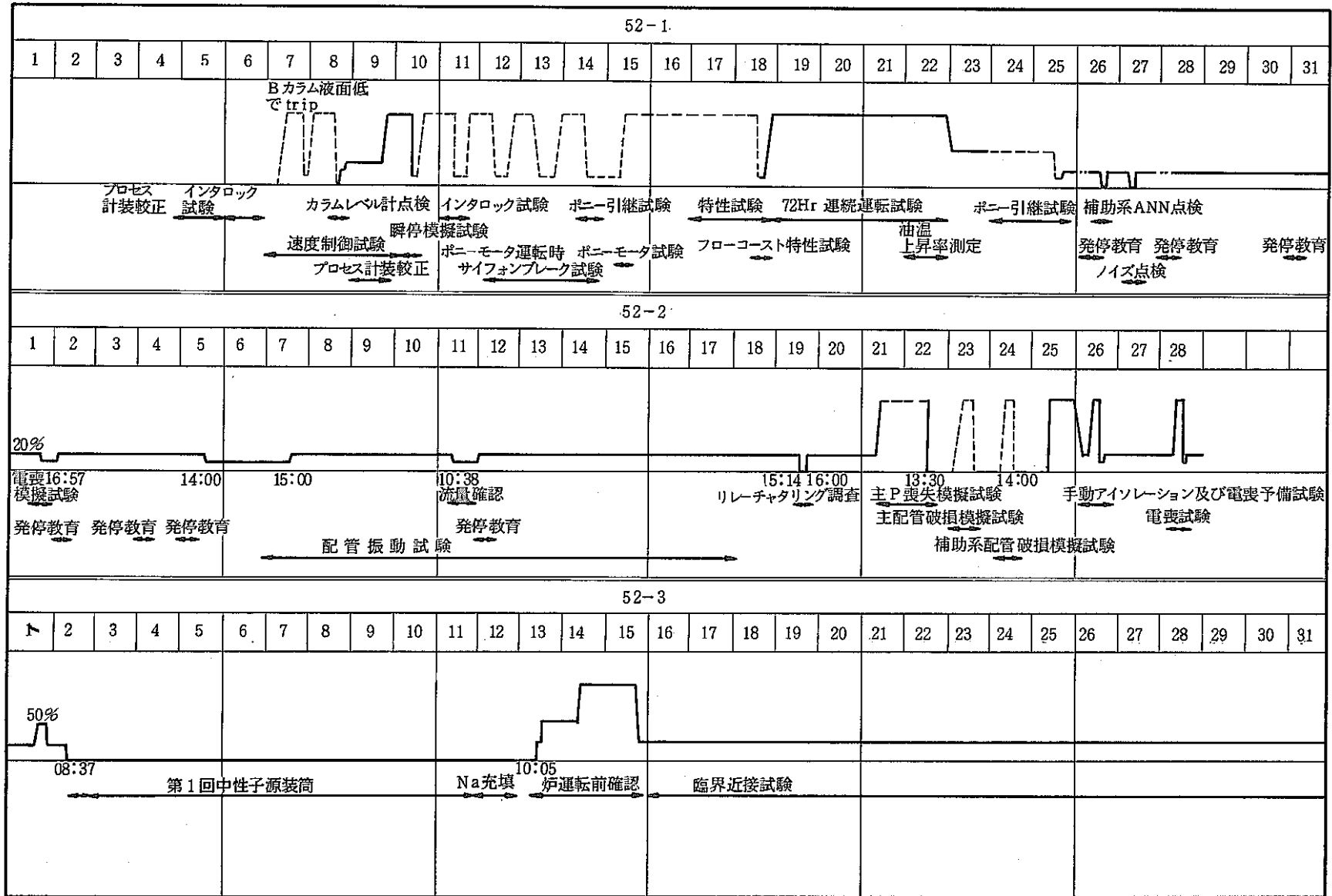


図3-1(5) 1次主冷却系運転実績の詳細

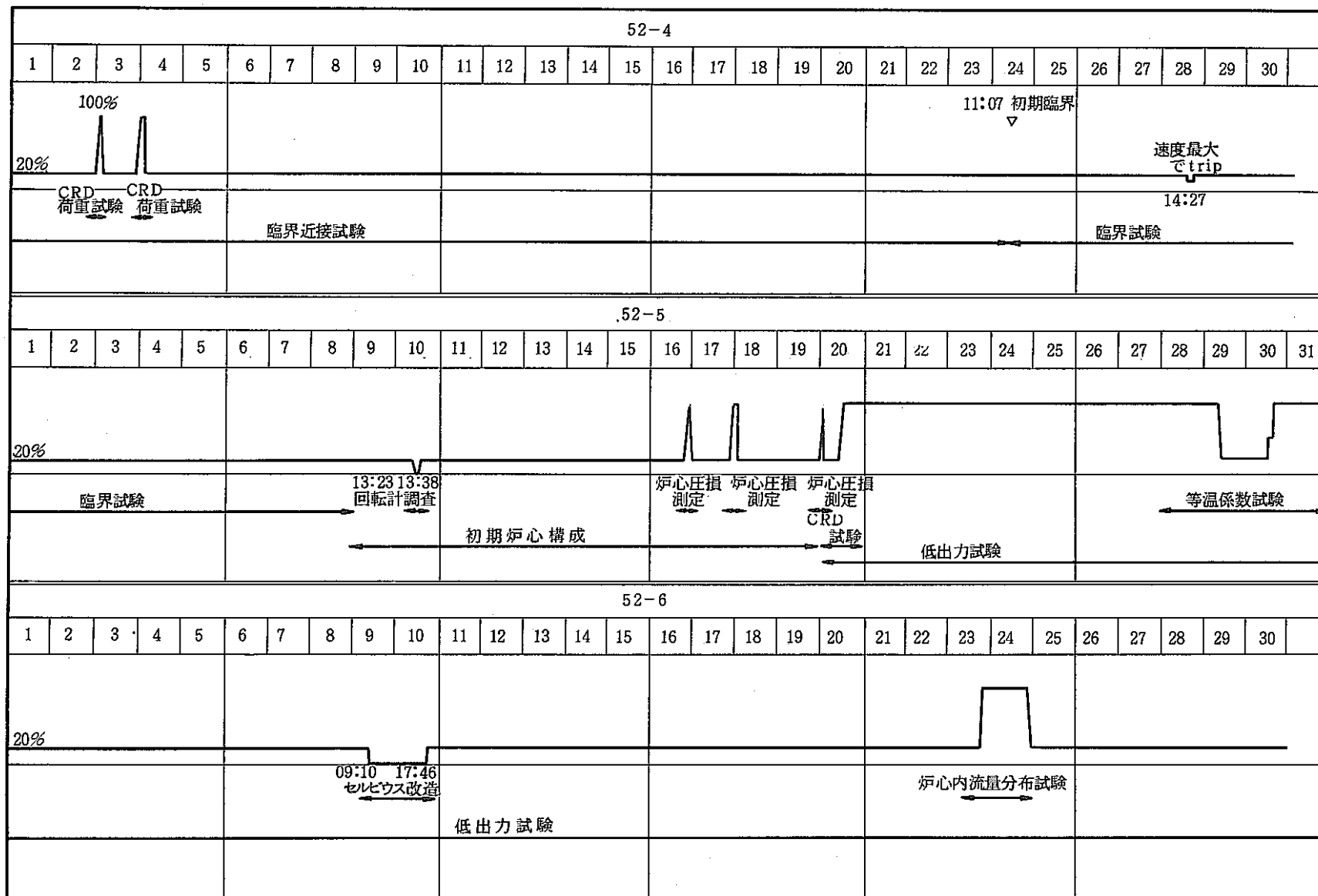


図3-1(6) 1次主冷却系運転実績の詳細

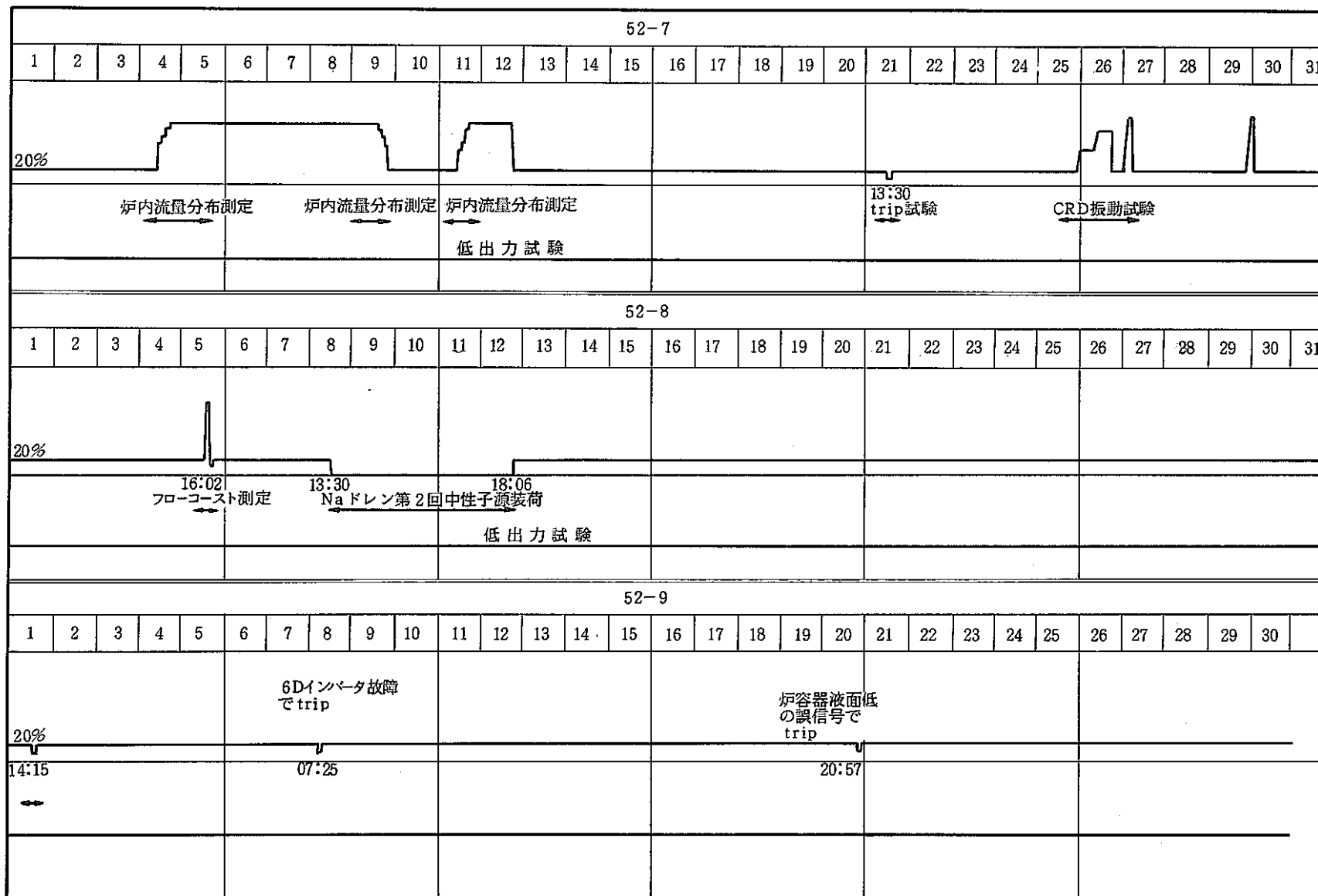


図3-1(7) 1次主冷却系運転実績の詳細



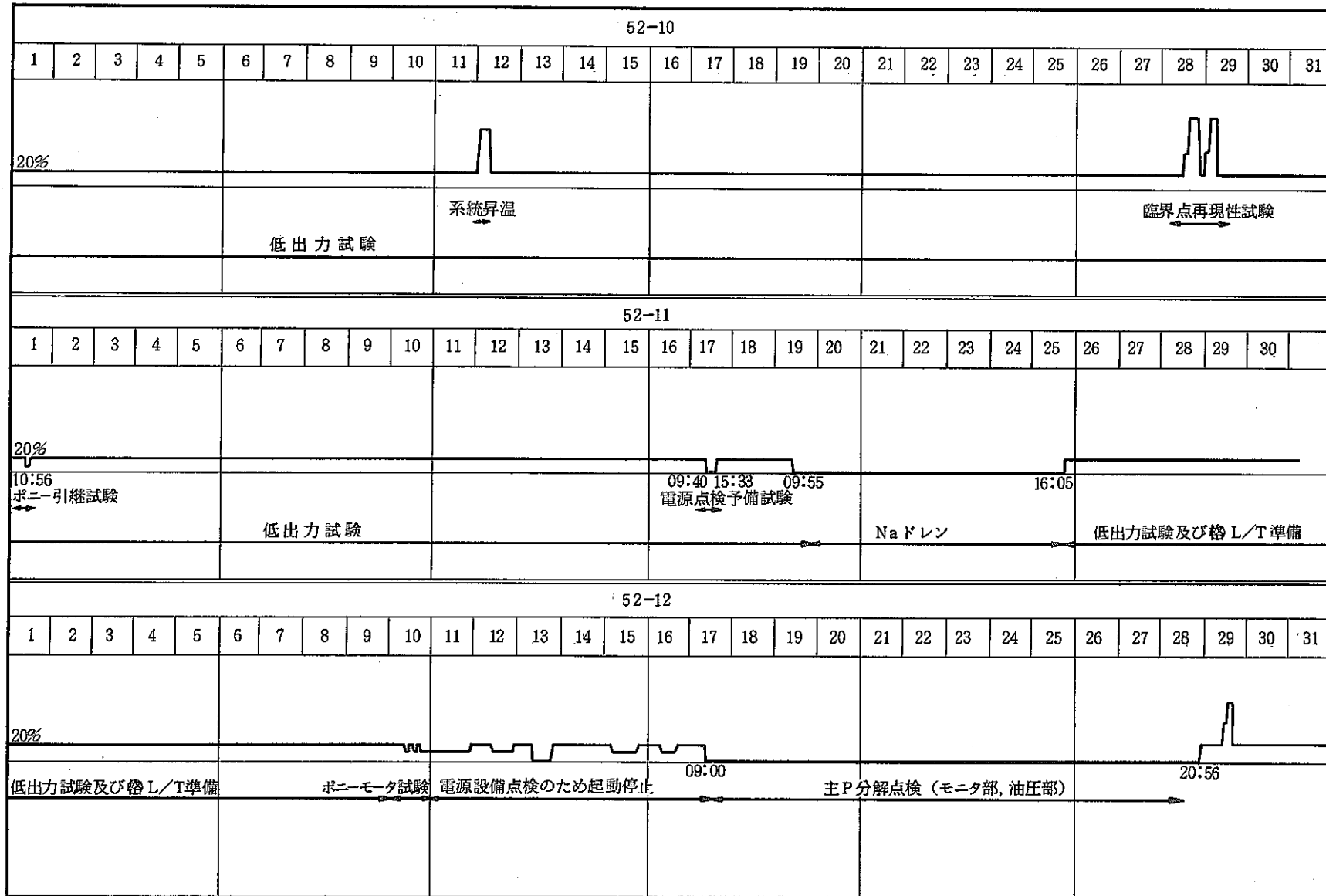


図3-1(8) 1次主冷却系運転実績の詳細

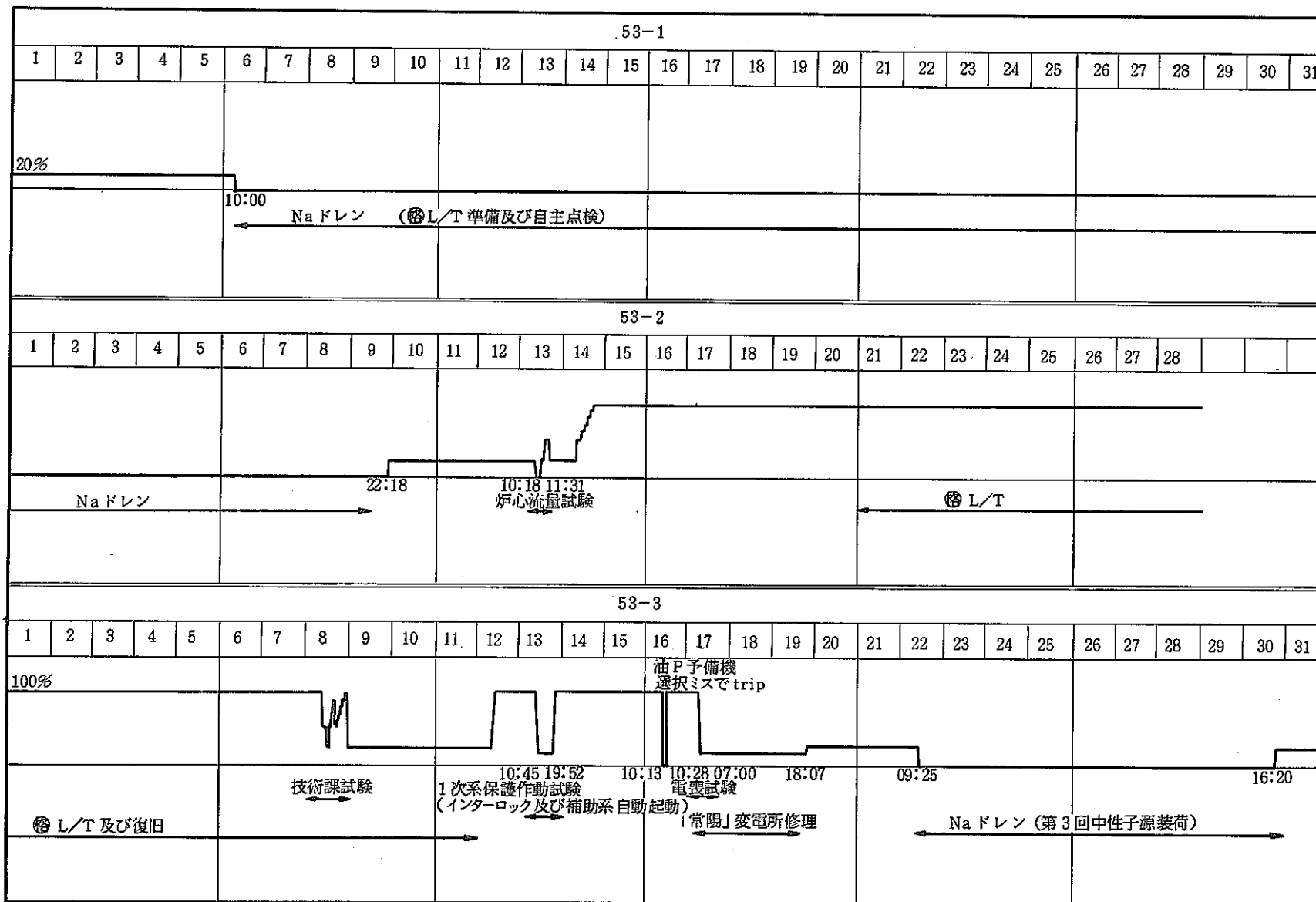


図3-1(9) 1次主冷却系運転実績の詳細

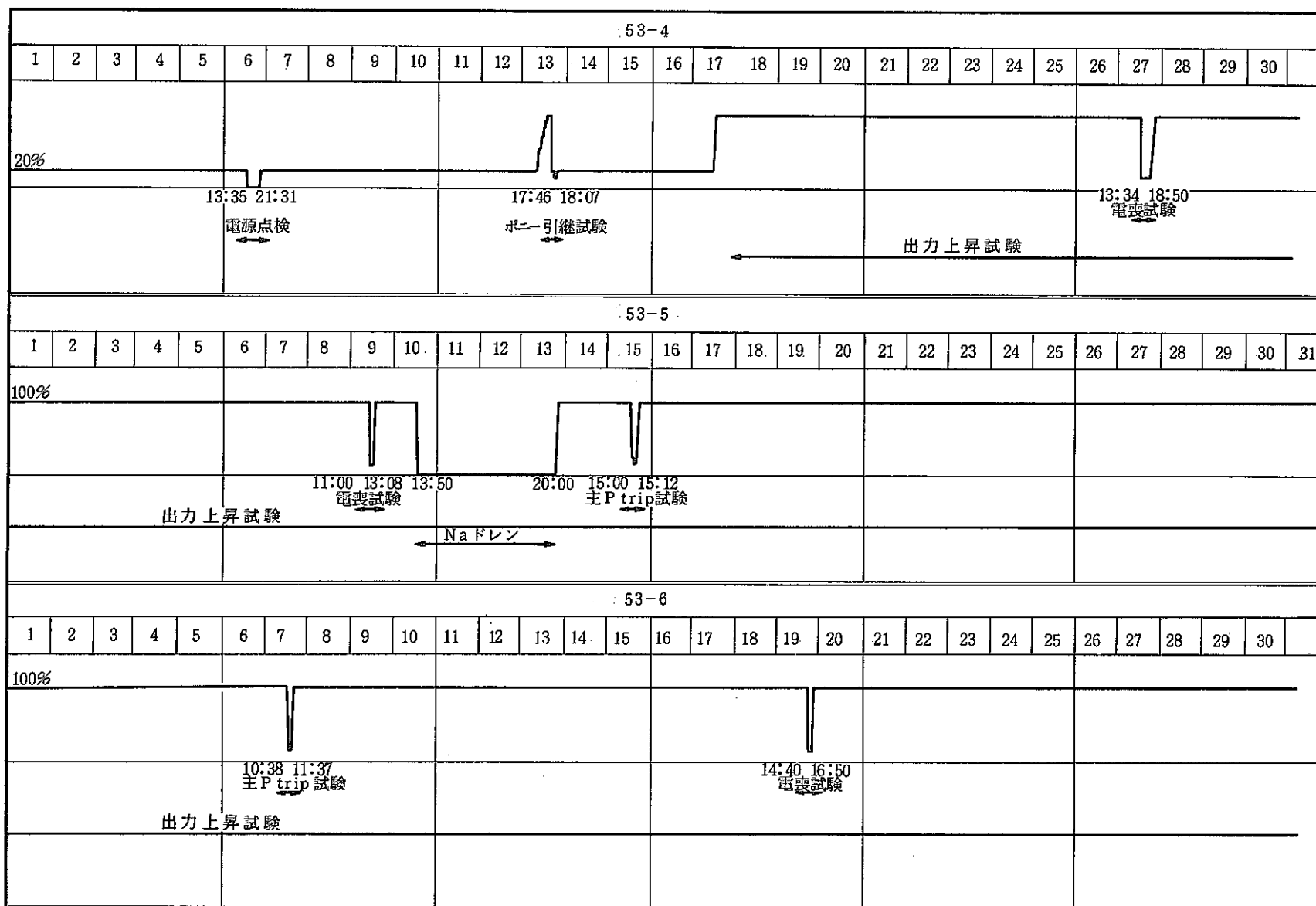


図3-1(10) 1次主冷却系運転実績の詳細

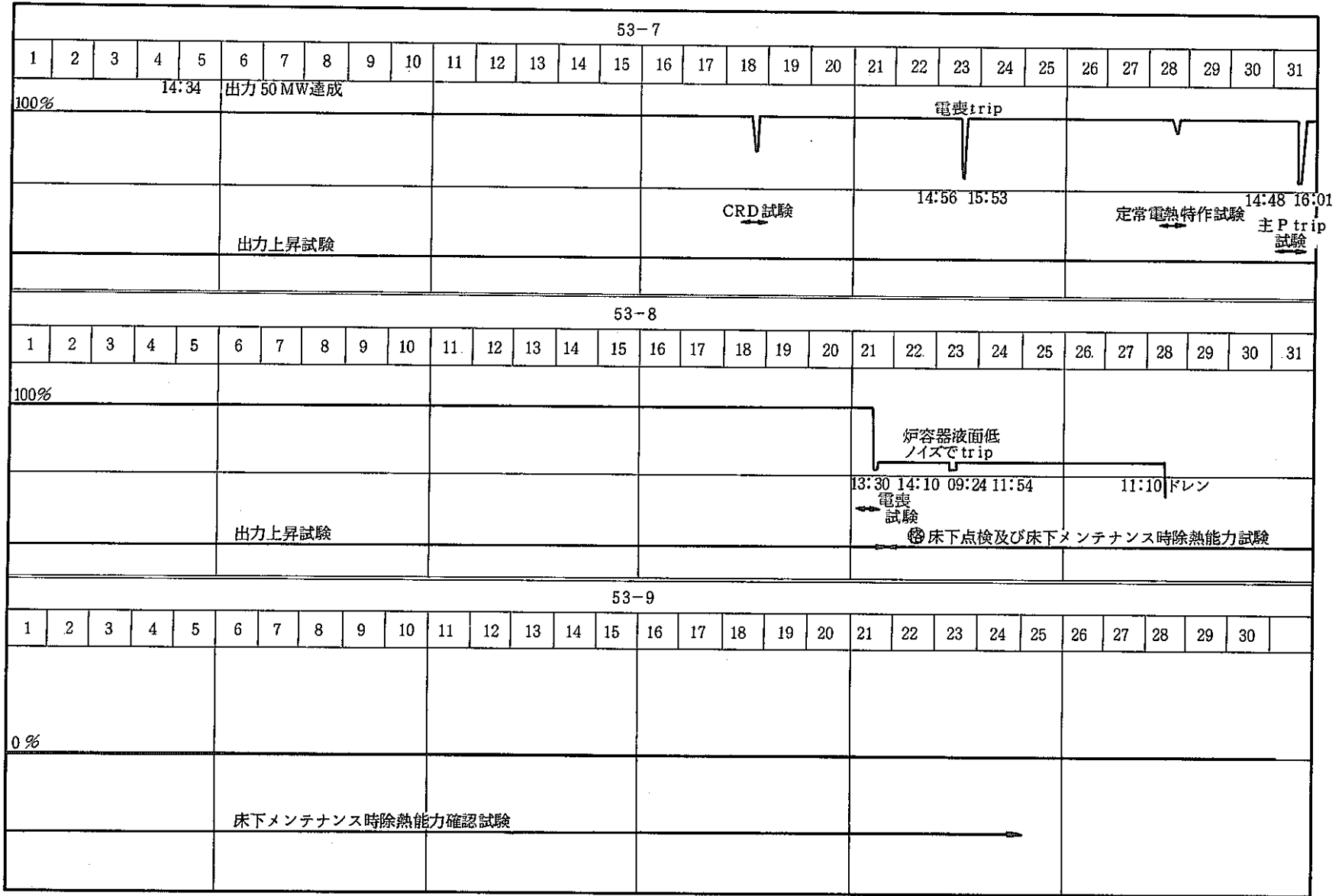


図3-1(11) 1次主冷却系運転実績の詳細

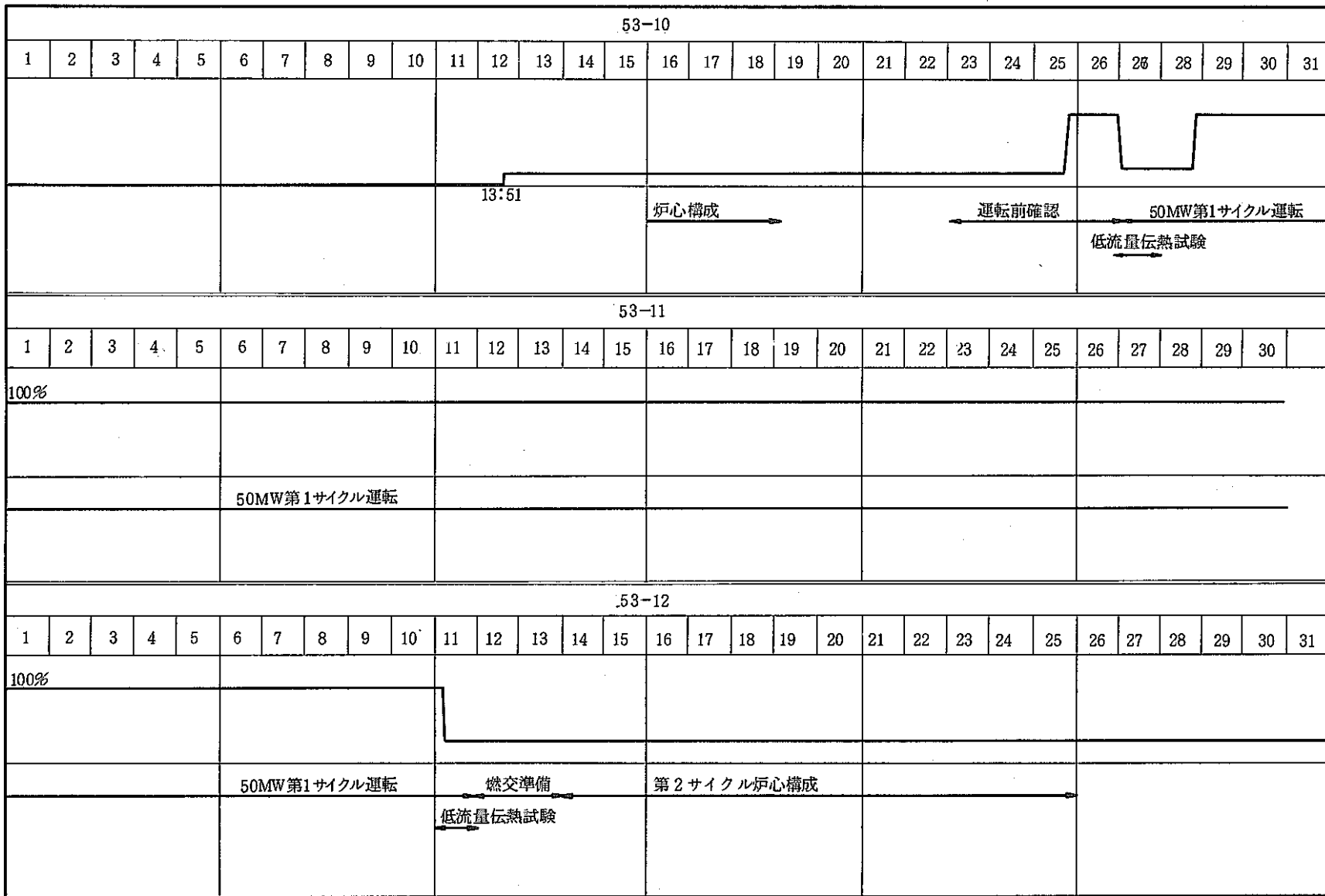


図3-1(12) 1次主冷却系運転実績の詳細

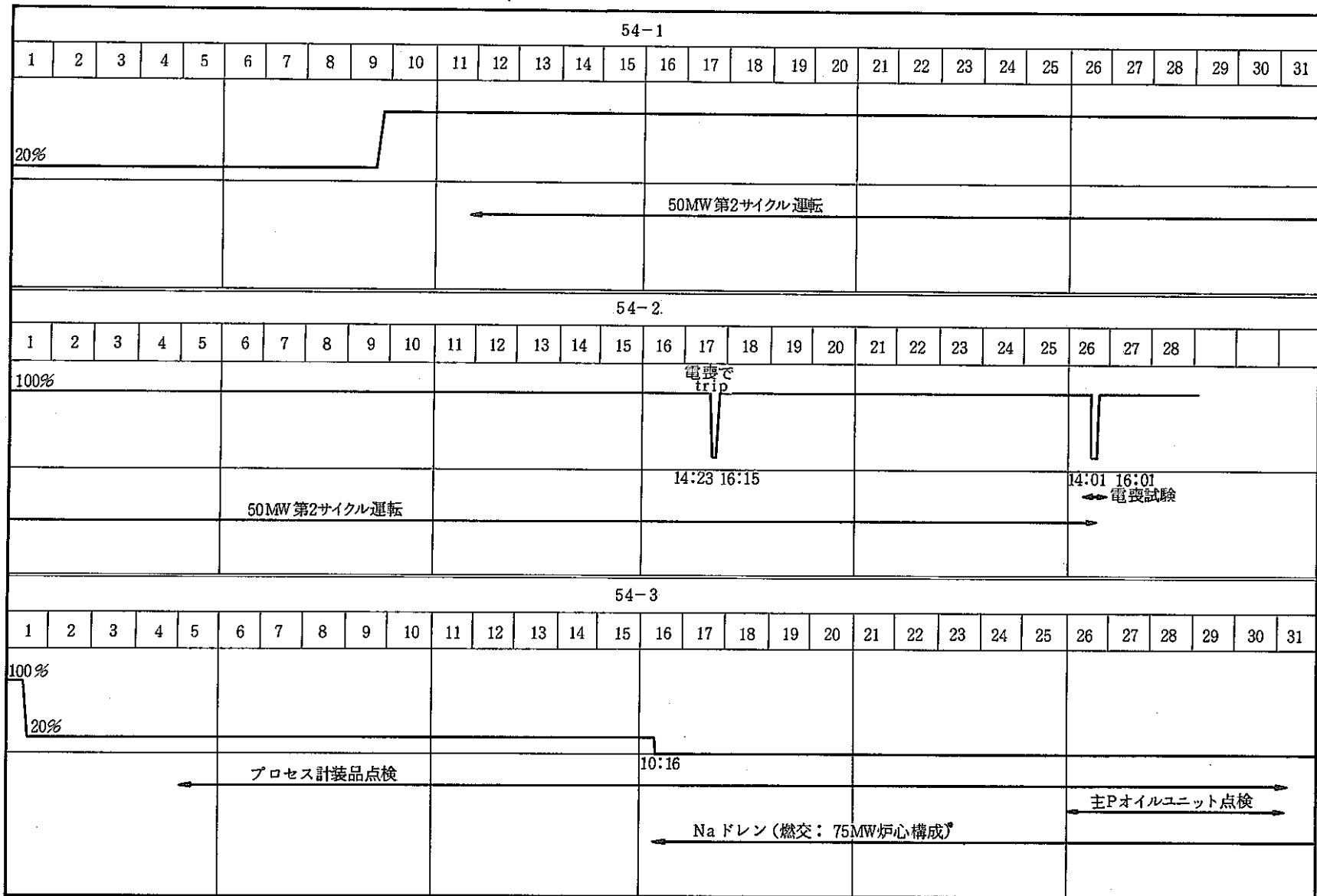


図3-1(13) 1次主冷却系運転実績の詳細

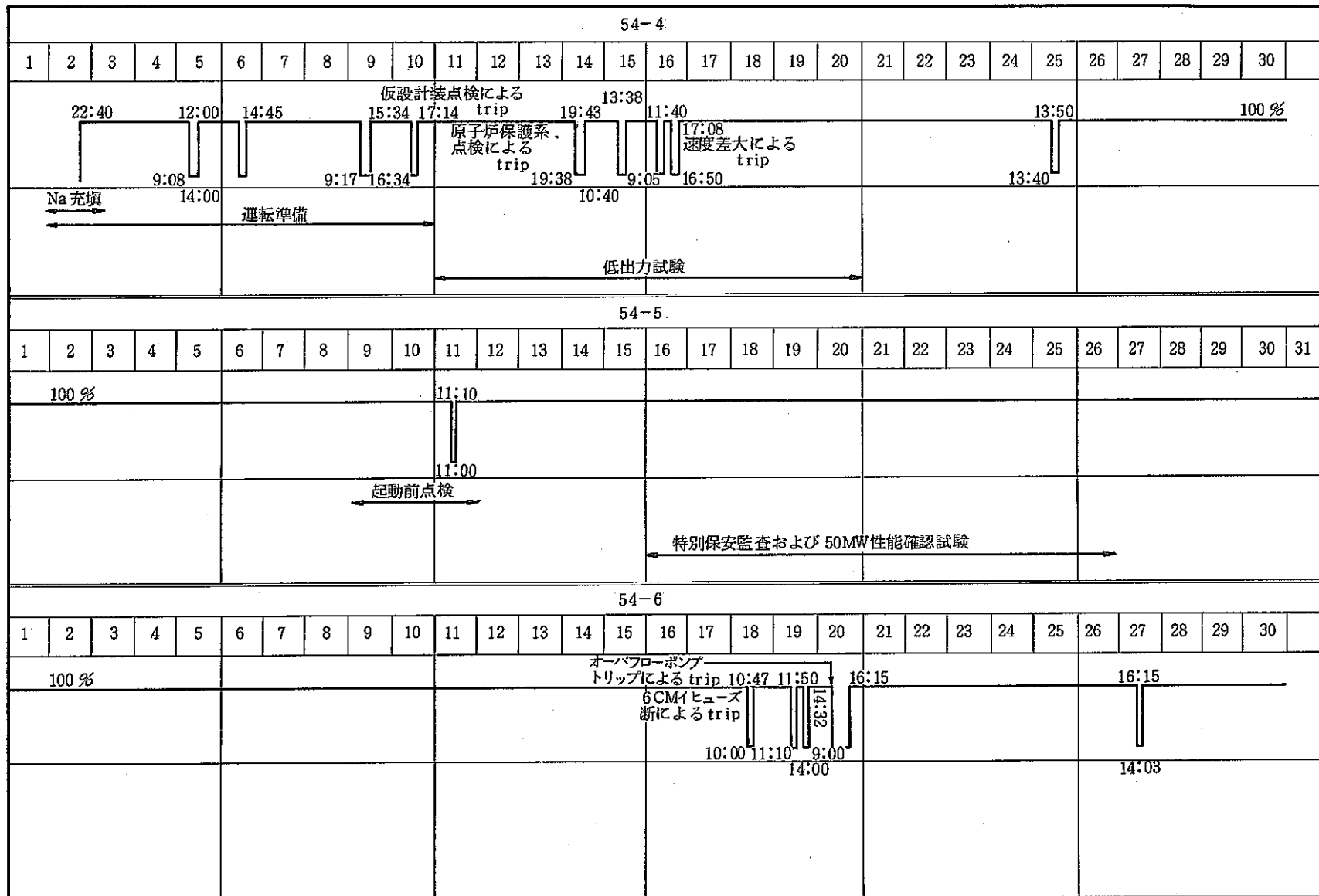


図3-1(14) 1次主冷却系運転実績の詳細

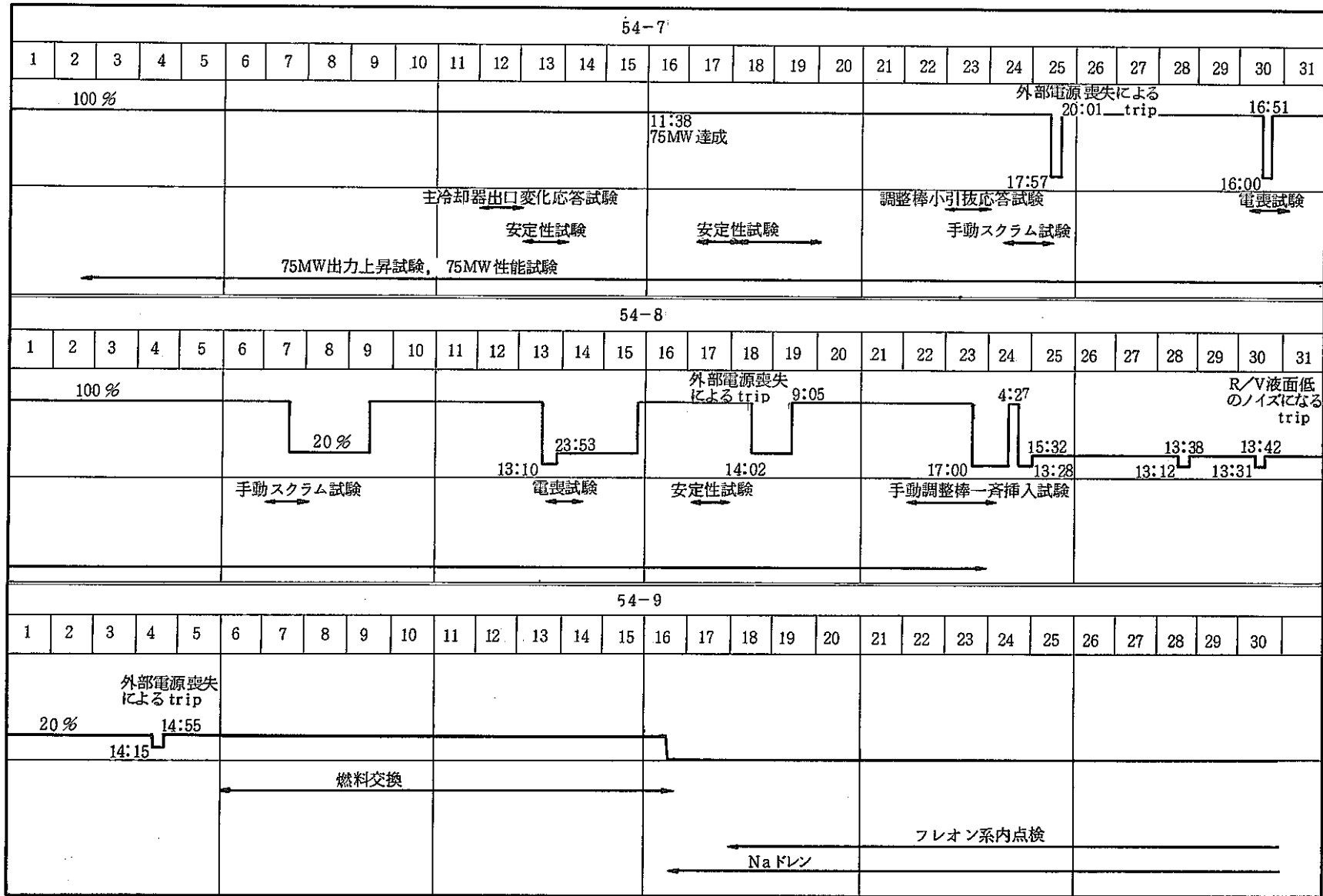


図3-1(15) 1次主冷却系運転実績の詳細



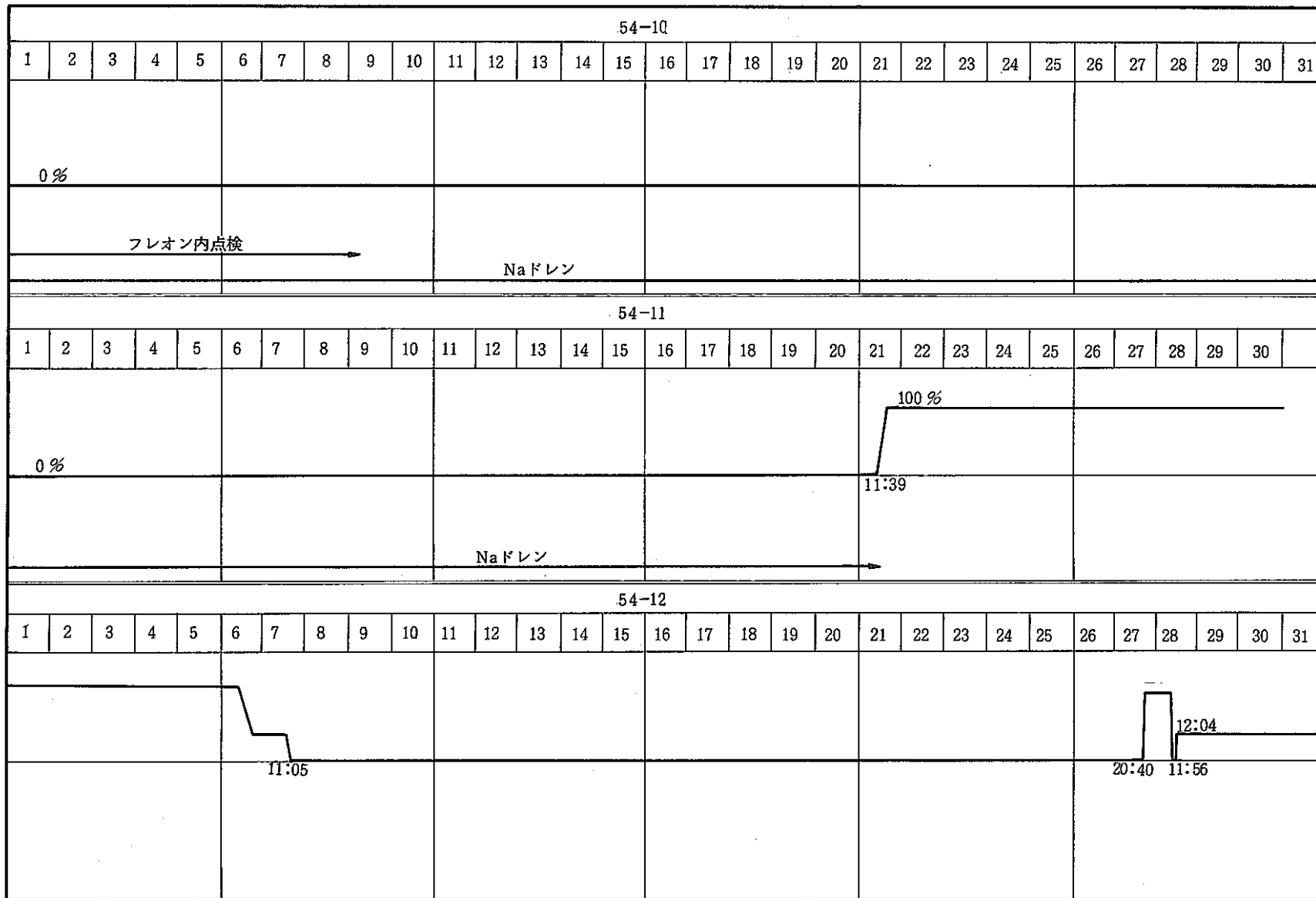


図3-1(16) 1次主冷却系運転実績の詳細

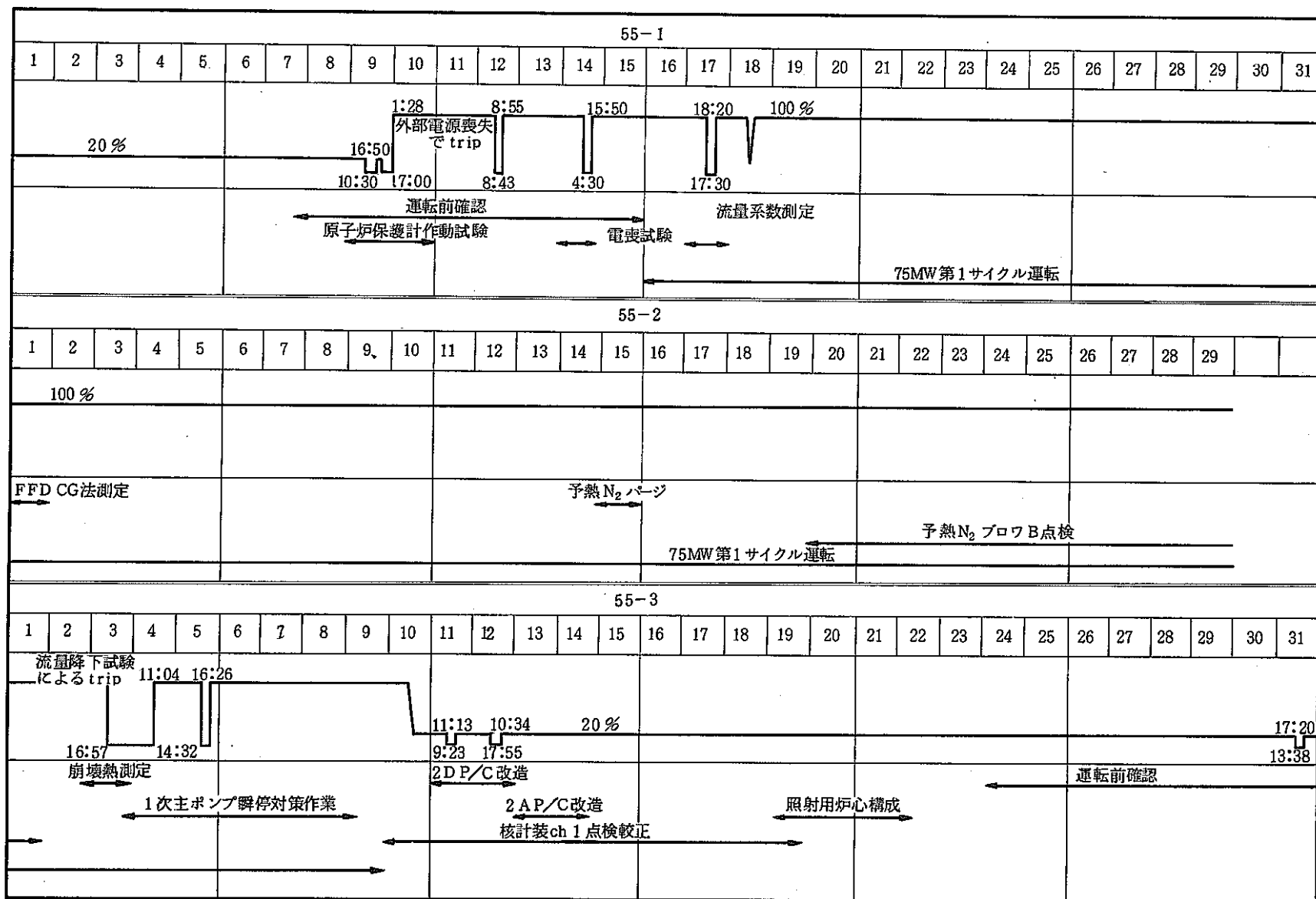


図3-1(17) 1次主冷却系運転実績の詳細

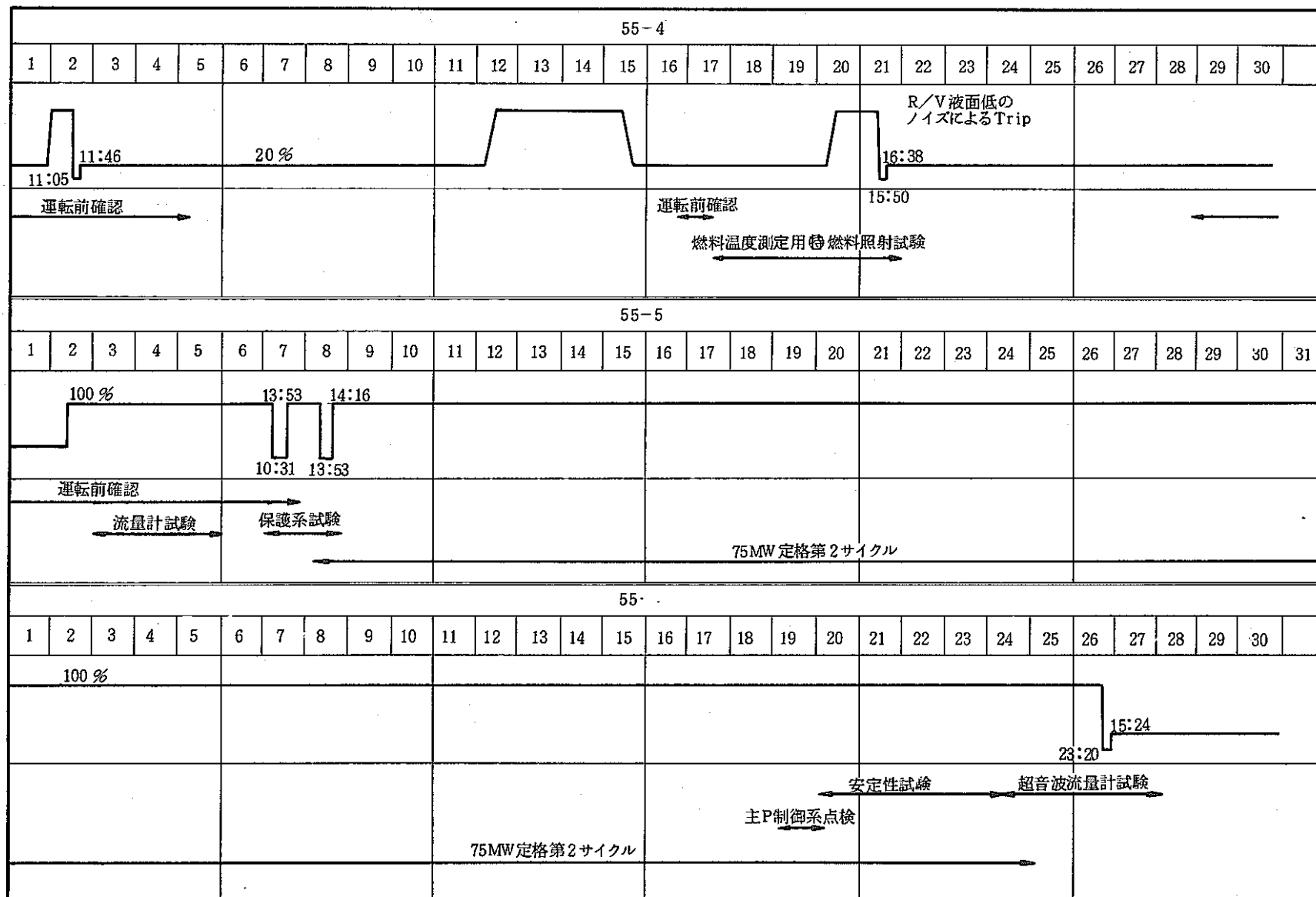


図3-1(18) 1次主冷却系運転実績の詳細

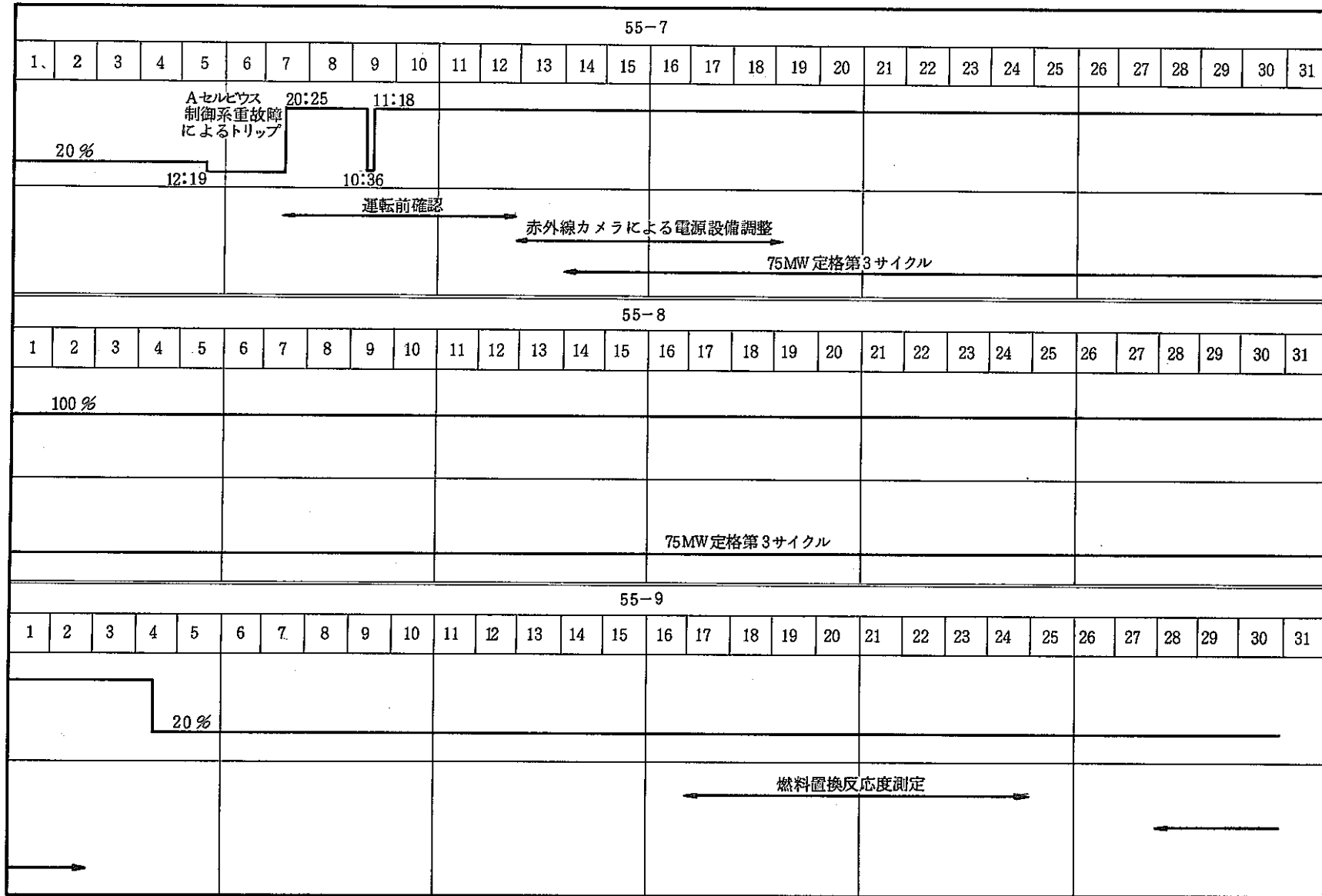


図3-1(19) 1次主冷却系運転実績の詳細

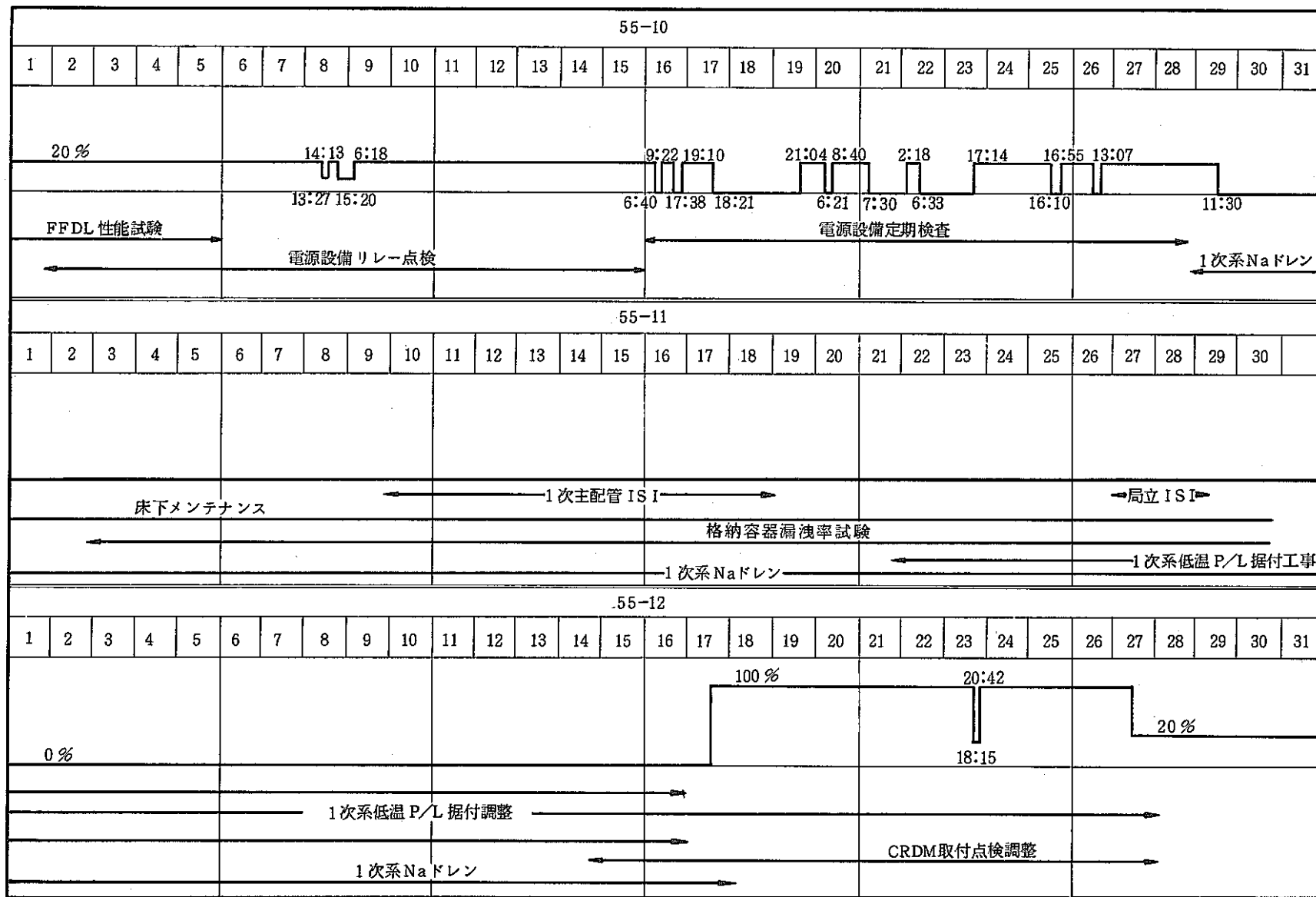


図3-1(20) 1次主冷却系運転実績の詳細

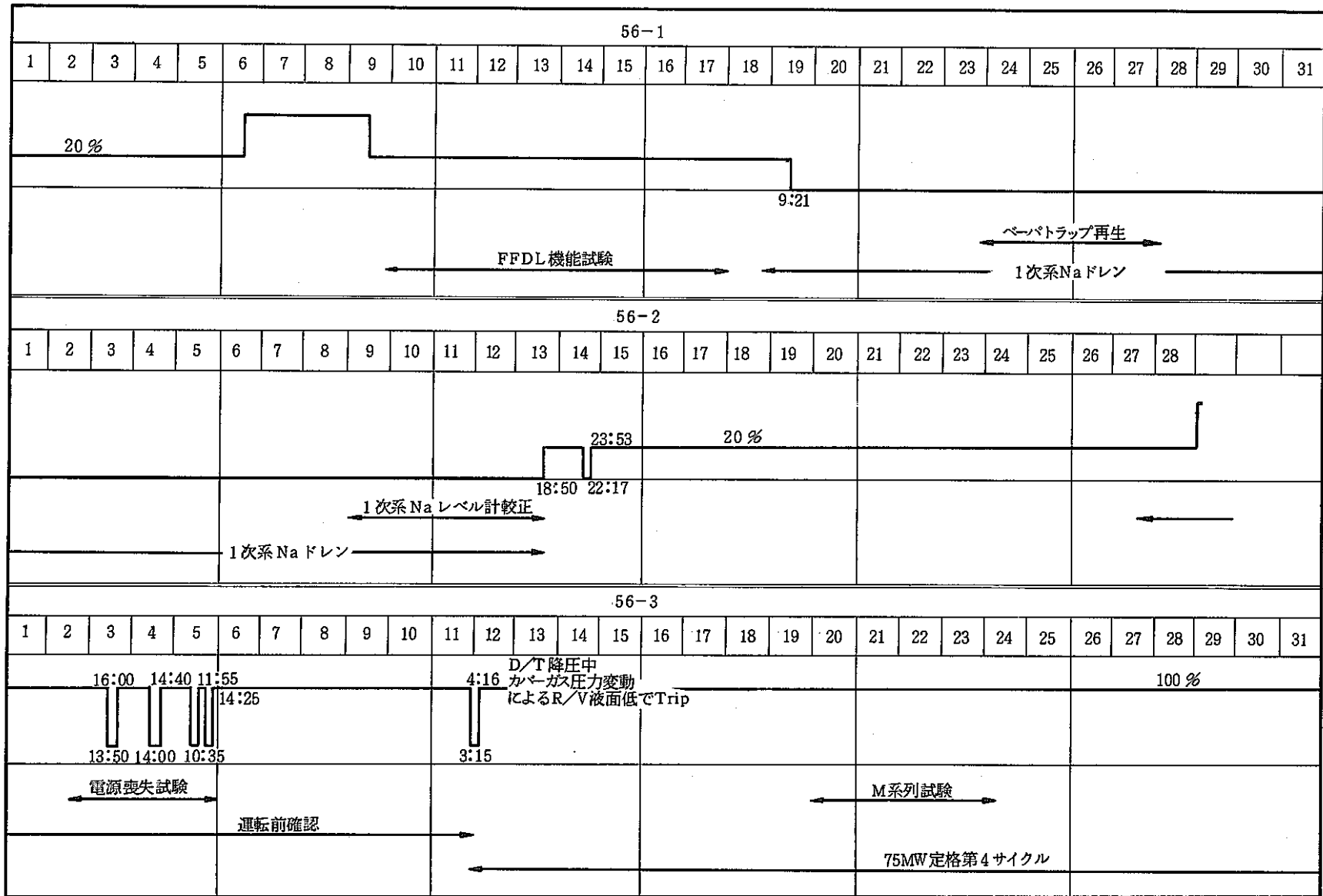


図3-1(2) 1次主冷却系運転実績の詳細

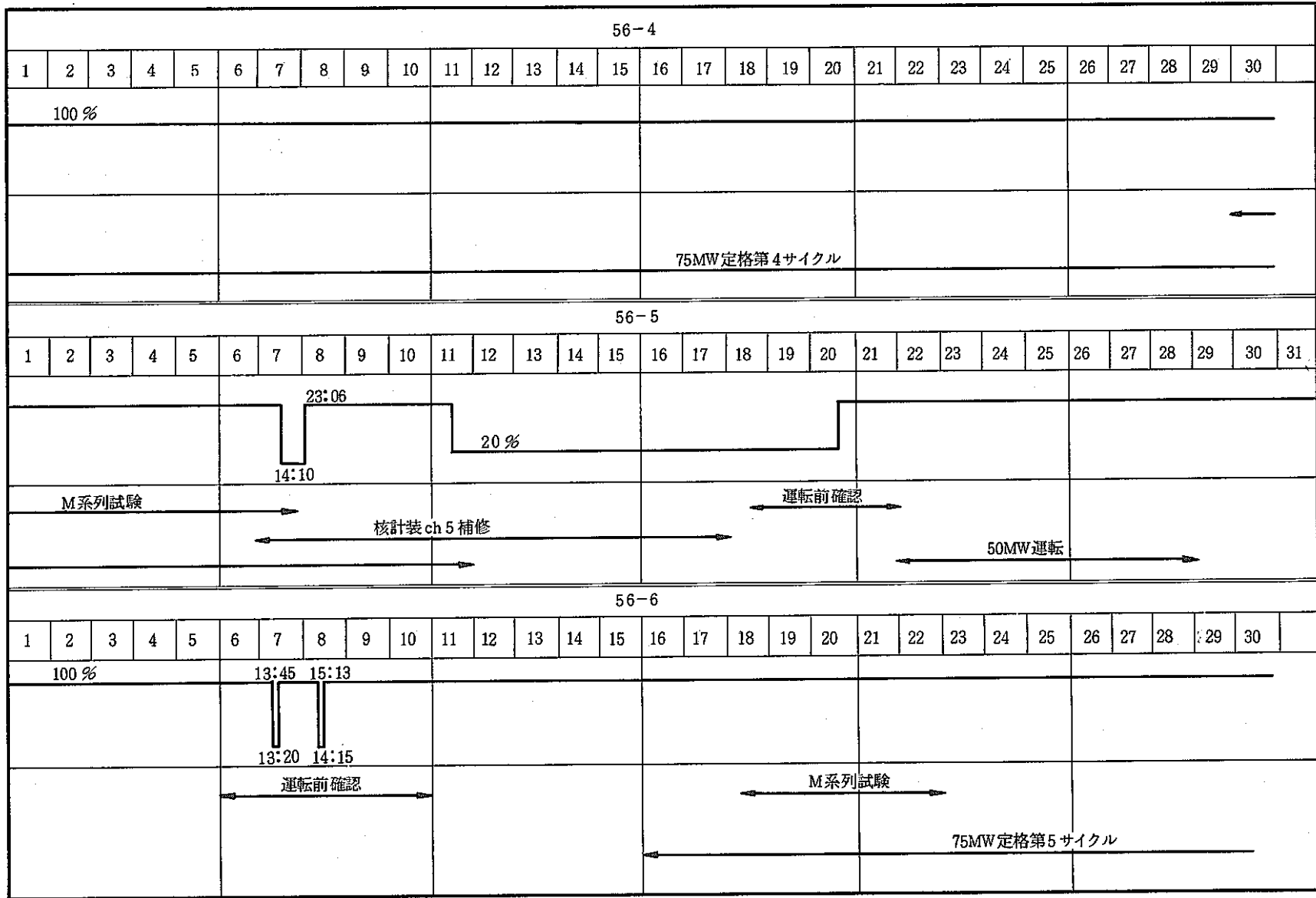


図3-1(2) 1次主冷却系運転実績の詳細

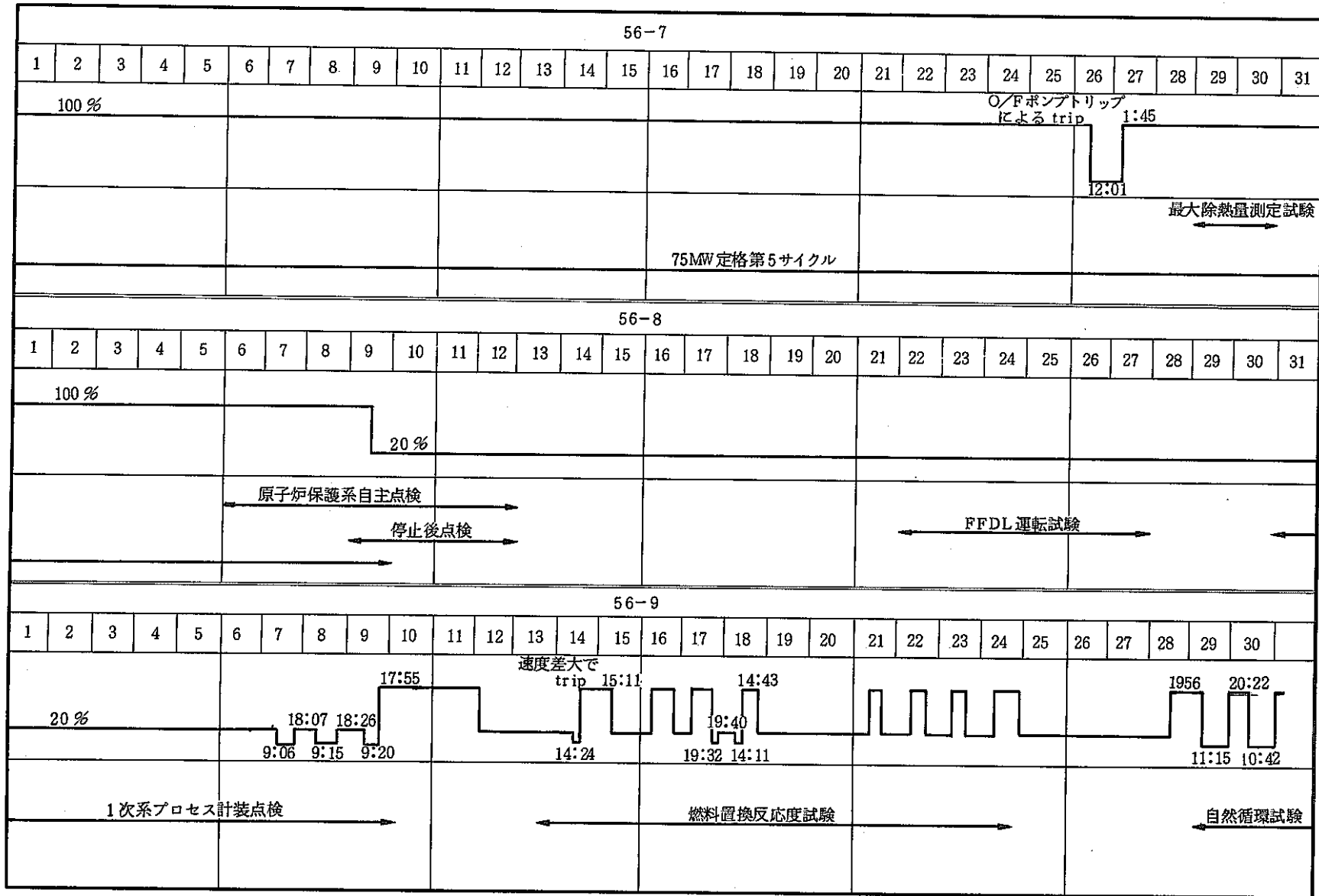


図3-1(2) 1次主冷却系運転実績の詳細



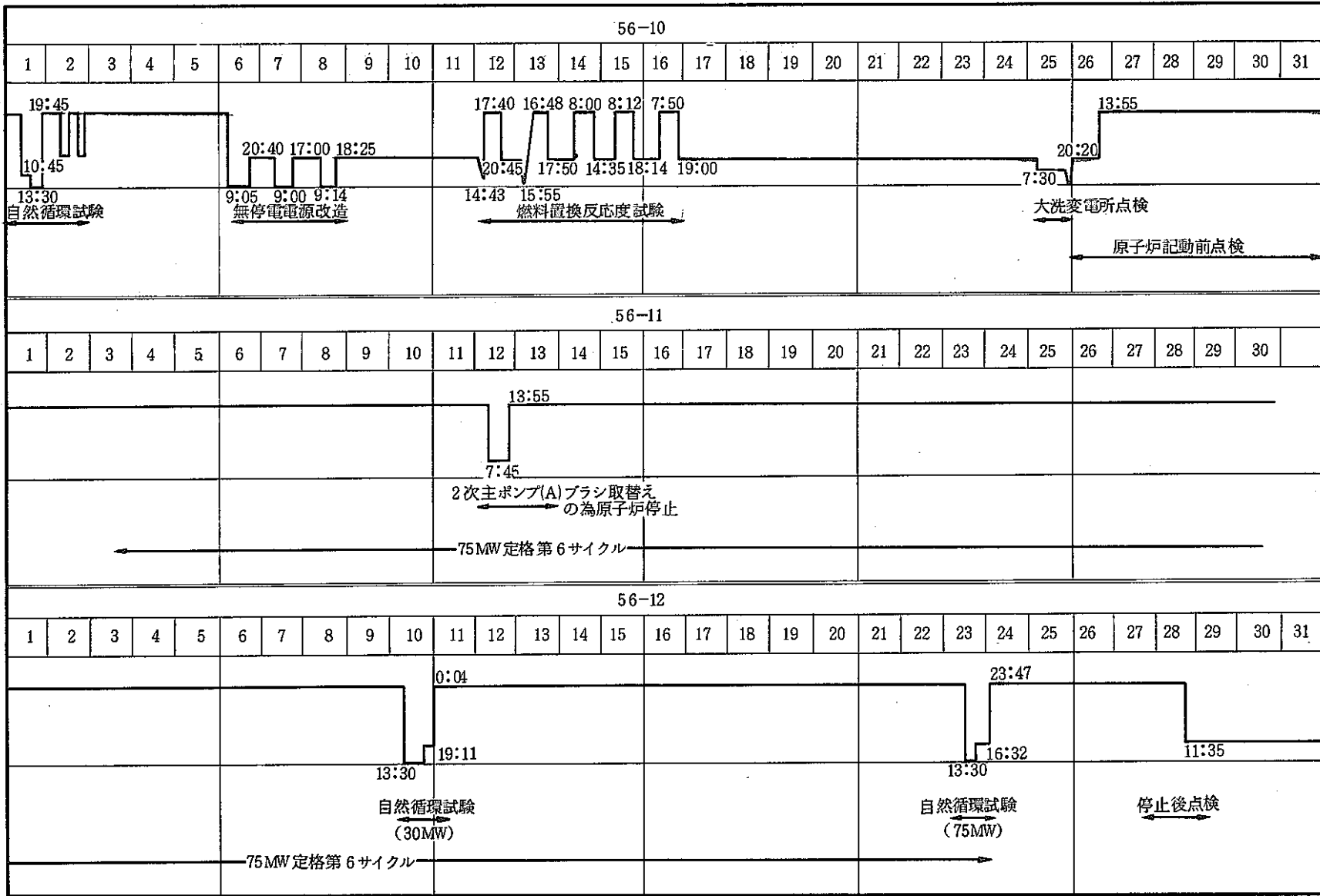


図3-1(2) 1次主冷却系運転実績の詳細

#### 4. 1次主循環ポンプの運転実績

高速実験炉「常陽」の1次主循環ポンプは、昭和51年2月24日初起動に成功し、総合機能試験時(昭和51年7月22日)に主ポンプ軸とシールブッシュ部のステックをおこし、補修改造が必要となるまでに次の運転実績を得た。

ポンプ延べ運転時間 : 約2700時間  
 起動, 停止回数 : 108回(内計画外トリップ5回)

この後、シール部および軸受の改造のため約5.5ヶ月間停止した。昭和52年1月7日に再起動以後、昭和56年12月31日(75MW定格第6サイクル運転終了)迄の間、特に問題となるような故障は発生していない。

再起動から昭和56年12月31日までの運転実績は次のとおりである。

ポンプ延べ運転時間 : 約35,500時間  
 起動, 停止回数 : 240回(内計画外トリップ22回)

表4-1に1次主ポンプの運転実績を年度別に示す。

運転実績の詳細を前章の図3-1(1)~(24)に示す。

1次主ポンプ等のトリップ歴を表4-2(1)~(8)に異常報告歴を表4-3(1)~(5)に示す。

初期起動からの主要イベントは次のとおりである。

51年2月24日：初めてナトリウム充填を行ない、最初のポンプ直結運転に入った。最初は1次冷却系配管中の異物を除去する目的で逆止弁の所にストレーナを入れ、50%流量(630 m<sup>3</sup>/hr/台)まで徐々に流量を上げてのフラッシング運転を約56時間行なった。フラッシング運転完了後ストレーナを逆止弁と置換し、引続き総合機能試験を実施した。

51年5月9日：第1回目の運転中瞬停(電源喪失)がありポンプ停止に至った。

51年7月19日：第2回目の瞬停(電源電圧変動)によりA号機が停止した。ただしこの時点では他ポンプトリップで自ポンプトリップのインターロックを設けていなかったため、Bポンプは手動にて停止した。(51年12月インターロック改造)

51年7月22日：総合機能試験、一次系主配管破損模擬試験終了後、プラント温態待期状態移行に於ける主ポンプ起動時に、A号機セルブウス重故障(直流主回路過電流)でトリップ、調査・検討の結果、シールブッシュ部のスティックと判明した。

51年7月22日~52年1月6日：ポンプ改造のため停止

本停止期間中に実施した改造は、以下のとおりである。

- (1) 静圧軸受改造
- (2) シールブッシュ部の改造
- (3) セルビウス制御回路改造

52年1月7日：改造後の運転開始

50%流量で運転中Bカラム液面低でトリップした。原因は、カラム液面計取り出し端子のゆるみであり増し締めした。

52年3月8日：総合機能試験が終了し、メーカーより引渡しを受ける。

52年4月24日：臨界到達

52年4月28日：瞬停（電源電圧変動）が2回発生し、第1回目は、瞬停再起動に成功したが、第2回目の瞬停（電源電圧変動）では速度差過大でトリップした。

52年6月9日～10日：セルビウス制御回路の再改造を実施した。

52年9月8日：6Dインバートレーヒューズ断により制御電源喪失となりトリップした。

52年9月20日：空調系を工事のため停止していたところ中央制御室の温度が上昇し、核計装指示等に異常が発生した。炉容器レベル計も不調となり、液面低の誤信号でポンプトリップした。

53年3月16日：格納容器雰囲気調整系の予備機自動起動試験のため2CP/Cのしゃ断器を、OFFにした際1次主ポンプ用油ポンプの予備機選択が行なわれておらず、油圧低でトリップした。

53年7月5日：50MW到達

53年7月23日：電源喪失によりトリップした。

53年8月23日：炉容器液面低のノイズによりトリップした。

53年10月27日：50MW第1サイクル開始

54年1月12日：50MW定格第2サイクル運転開始

54年2月17日：50MW第2サイクル運転中のところ電源喪失が発生しトリップ

54年4月10日：仮設計装点検作業ミスによるトリップ

54年4月14日：原子炉保護系の点検ミスによるトリップ

54年4月16日：ポンプ昇速中運転員の操作ミスのために速度差大でトリップ

54年6月18日：6C電源のトレイヒューズ断による6S電源トリップの為トリップ

54年7月16日：75MW達成

54年7月25日：外部電激喪失（落雷）によるトリップ

54年8月18日：外部電源喪失（東電側不明）によるトリップ

54年8月30日：炉容器液面低々のノイズによるトリップ

55年1月12日：外部電源喪失（東電側地絡）によるトリップ

55年1月16日：75MW定格第1サイクル運転開始

55年4月21日：炉容器液面低々のノイズによるトリップ

55年5月8日：75MW定格第2サイクル運転開始

- 55年7月5日：A-セルピウス制御系重故障（原因不明インバータの転流失敗と思われる）によるトリップ
- 55年7月14日：75 MW定格第3サイクル運転開始
- 55年10月9日：ポンプ昇速中速度差大でトリップ
- 56年3月12日：D/T降圧中，カバーガスの圧力変動による炉容器液面低々によるトリップ
- 56年3月12日：75 MW定格第4サイクル運転開始
- 56年6月16日：75 MW定格第5サイクル運転開始
- 56年7月26日：FFDのドレン操作時に運転員の誤操作のためオーバーフロー汲上げポンプがトリップ，調整棒一斉挿入に至った。（冷却材ナトリウム収縮により炉容器液面が急速下降し，2分後にトリップ）
- 56年9月14日：ポンプ降速中，速度差大でトリップ
- 56年11月4日：75 MW定格第6サイクル運転開始
- 56年12月23日：熱出力75 MWからの自然循環試験を実施とともにマーク I（増殖）炉心での運転を終了した。

表4-1 1次主循環ポンプ運転実績

単位(H)

項目	年						累 積
	S 51年	S 52年	S 53年	S 54年	S 55年	S 56年	
1次主ポンプ 100%流量運転時間	528	888	4,672	4,992	4,512	5,372	20,964
1次主ポンプ 20%流量運転時間	2,208	6,624	1,704	1,296	2,976	2,524	17,332
その他(ボニー運転及び 停止状態)時間	144	456	176	72	120	120	1,088

項目	年						累 積	
	軸受改造前		軸 受 改 造 後					
	S51 2/24~7/22	S51 7/22~	S52 1/7~3/31	S55 4/1~3/31	S54 4/1~3/31	S55 4/1~3/31	S56 4/1~12/31	累 積
1次主ポンプ 延べ運転時間(H)	2,500		16,500	5,900	6,700	6,460	35,560	38,060
起動回数	54		33	38	26	23	120	174
停止回数 (含計画トリップ)	49		25	30	22	21	98	147
計画外トリップ回数	5		8	8	4	2	22	27

表4-2(1) 1次主循環ポンプトリップ歴

年月日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
51-5-9	トリップ	Na 流量 20%	落雷による瞬停	電源復旧後再起動	同日
51-5-30	トリップ	定格回転数へ昇速中 Na 温度 250℃	B主ポンプ潤滑油圧力低		同日
51-7-1	トリップ	Na 流量 100% Na 温度 250℃ ポンプ回転数 A 790 rpm B 800 rpm	2DC/Cの制御電源NFBがトップしたため2A, 2B潤滑油ポンプがトリップした。予備機が自動起動したがAB主ポンプ潤滑油圧力低低となり主ポンプはトリップした。	油ポンプ自動起動設定値を1.3Kg/cm <sup>2</sup> ・gから1.9kg/cm <sup>2</sup> ・gに変更した。また瞬時停電時にも油圧低低で即主ポンプがトリップしないようタイマーを追加した。 なお、2DC/Cの制御電源NFBトリップの原因調査を行なったが、原因不明であった。	
51-7-19	トリップ	Na 流量 220 m <sup>3</sup> /hr Na 温度 240℃ ポンプ回転数 A 130 rpm B 120 rpm	電源、電圧変動によるトリップ	電源復旧後再起動	同日
51-7-19	トリップ	主ポンプ起動時 Na 温度 230℃	主ポンプ起動時に、主ポンプ制御電源(付属3SC/C)喪失	3SC/C復旧後再起動	同日
51-7-22	スティック	主ポンプ起動時 Na 温度 240℃	次主ポンプ起動時にセルビウス制御系重故障発生。 調査の結果、軸とシールブッシュの噛り付きによるものと判明した。	主ポンプを工場へ持ち帰り、軸受改造を行なった。	52-1-6
52-1-7	トリップ	Na 流量 880 m <sup>3</sup> /hr Na 温度 220℃	B-オーバーフローカラム、Na液面低によるトリップ。	主ポンプを再起動し50%Flowとした。 液面計については点検を行なった。	同日

表4-2(2) 1次主循環ポンプトリップ歴

年月日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復旧月日
52-4-28	トリップ	ポンプ回転数 A 535 rpm B 530 rpm Na 流量 20% Na 温度 200℃ ポンプ回転数 A 130 rpm " B 120 rpm 燃料交換モード	液面計のフレ（振動）によるものと思われる。		
52-9-8	トリップ	Na 流量 A 215 m <sup>3</sup> /h B 239 m <sup>3</sup> /h Na 温度 240℃ ポンプ回転数 A 130 rpm B 125 rpm 燃料交換モード	再起動失敗によるものと思われる。 6Dインバータトレーヒューズ断	ヒューズ交換後再起動	同日
52-9-20	トリップ	Na 流量 A 220 m <sup>3</sup> /h " B 240 m <sup>3</sup> /h Na 温度 240℃ ポンプ回転数 A 135 rpm B 130 rpm 燃料交換モード	計器雰囲気温度上昇に伴う原子炉容器 Na 液面低の誤信号	雰囲気を冷却後計器仮較正を行ない再起動	同日
53-3-16	トリップ	Na 流量 A 1253 m <sup>3</sup> /h B 1269 m <sup>3</sup> /h Na 温度 256℃	84系統の予備機自動起動試験のため2CP/ C及び2DP/Cのしゃ断器を"OFF"に した際主ポンプの油ポンプの予備選択が行	油ポンプを起動し、主ポンプを再起動した	同日

表 4-2 (3) 1次主循環ポンプトリップ歴

年 月 日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
53-7-23	トリップ	ポンプ回転数 A 710 rpm " B 710 rpm 原子炉停止中 Na 流量 A 1246 m <sup>3</sup> /h B 1260 m <sup>3</sup> /h Na 温度 原子炉入口 365℃ 原子炉出口 380℃ ポンプ回転数 A 700 rpm " B 695 rpm 原子炉出力 10 MW	われてなかったため油圧低でトリップ  落雷による外部電源喪失	電源復帰後再起動	同日
53-8-23	トリップ	Na 流量 A 227 m <sup>3</sup> /h " B 243 m <sup>3</sup> /h Na 温度 253℃ 原子炉停止中	炉容器 Na 液面低によるトリップ 回転プラグケーブリング取外し中ノイズが 発生したためと思われる。再現性無く、そ の後の発生は無い。	誤信号復帰後再起動	同日
54-2-17	トリップ	Na 流量 A 1251 m <sup>3</sup> /h " B 1262 m <sup>3</sup> /h Na 温度 原子炉入口 368℃ 原子炉出口 430℃ ポンプ回転数 A 700 rpm " B 690 rpm 原子炉出力 50 MW	外部電源喪失	電源復帰後再起動	同日



表4-2(4) 1次主循環ポンプトリップ歴

年月日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
54-4-10	トリップ	Na流量 100%〔1260m <sup>3</sup> /h〕 Na温度 原子炉入口 260℃ 原子炉出口 260℃ ポンプ回転数A 700 rpm B 700 rpm 原子炉停止中	仮設計装点作業ミスによりトリップした	再起動	同日
54-4-14	トリップ	Na流量 100%〔1260m <sup>3</sup> /h〕 Na温度 原子炉入口 250℃ 原子炉出口 250℃ ポンプ回転数A 710 rpm B 700 rpm 原子炉停止中	原子炉保護系点検ミスによりトリップした	再起動	同日
54-4-16	トリップ	Na流量 3昇速中 Na温度 原子炉入口 250℃ 原子炉出口 250℃ ポンプ回転数A }昇速中 B } 原子炉停止中	速度差過大によるトリップ  (運転操作ミスによる)	再起動	同日

表 4-2 (5) 1次主循環ポンプトリップ歴

年月日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
54-6-18	トリップ	Na 流量 100%〔1260m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 266℃ 原子炉出口 267℃ ポンプ回転数A 700 rpm B 700 rpm 原子炉停止中	6S電源トリップの為 (6C電源のトレイヒューズ断)	ヒューズ補修後再起動	同日
54-7-25	トリップ	Na 流量 100%〔1260m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 370℃ 原子炉出口 388℃ ポンプ回転数A 700 rpm B 690 rpm 原子炉出力 10 MW	外部電源喪失による。(落雷)	電源復帰後再起動	同日
54-8-18	トリップ	Na 流量 100%〔1260m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 370℃ 原子炉出口 460℃ ポンプ回転数A 700 rpm B 685 rpm	外部電源喪失による。(東電側原因不明)	電源復帰後再起動	8-19

表 4-2 (6) 1次主循環ポンプトリップ歴

年 月 日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
54-8-30	トリップ	原子炉出力 70 MW Na 流量 20%〔240m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 245℃ 原子炉出口 245℃ ポンプ回転数 A 140 rpm B 135 rpm 原子炉停止中	炉容器液面低低による。	誤信号復帰後再起動	同日
55-1-12	トリップ	Na 流量 100%〔1260 m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 250℃ 原子炉出口 250℃ ポンプ回転数 A 705 rpm B 700 rpm 原子炉停止中	外部電源喪失による。 (東電側の地絡)	電源復帰後再起動	同日
55-4-21	トリップ	Na 流量 20%〔230 m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 246℃ 原子炉出口 246℃ ポンプ回転数 A 130 rpm B 120 rpm 原子炉停止中	ノイズによる R/V 液面低の発生	再起動	同日

表 4-2(7) 1次主循環ポンプトリップ歴

年 月 日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
55-7-5	トリップ	Na 流量 20%〔245 m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 207℃ 原子炉出口 208℃ ポンプ回転数A 140 rpm B 130 rpm 原子炉停止中	Aセルビウス制御系重故障	調査したが原因不明再起動	同日
55-10-9	トリップ	Na 流量 昇速中 Na 温度 原子炉入口 220℃ 原子炉出口 238℃ 原子炉停止中	主ポンプ昇速中に運転員の操作ミスで速度差大となった。	再起動	同日
56-3-12	トリップ	Na 流量 100%〔1260 m <sup>3</sup> /h〕 Na 温度 原子炉入口 244℃ 原子炉出口 244℃ ポンプ回転数A 710 B 700 原子炉停止中	D/T降圧カバーガスの圧力変動によるR/V液面低	再起動	同日

表4-2(8) 1次主循環ポンプトリップ歴

年月日	トリップ分類	プラント状態	トリップ原因	復帰内容	復帰月日
56-7-26	トリップ	Na流量 100%〔1260m <sup>3</sup> /h〕 Na温度 原子炉入口 370℃ 原子炉出口 467℃ ポンプ回転数A 675 rpm B 680 rpm 熱出力 75 MW	O/Fポンプトリップによる原子炉スクラム（FFDのドレン操作時に運転員のバルブ操作ミスによるO/Fポンプへのガス巻き込みによる）	補助系起動（R/V液面-350 mm） R/V液面を回復さす為に緊急汲み上げラインを使用した。 O/Fタンクの加圧操作をした後O/Fポンプを復旧した。	7-27
56-9-14	トリップ	Na流量 降速中 Na温度 原子炉入口 248℃ 原子炉出口 248℃ 原子炉停止中	Na流量を100%→20%へ降下中運転員の操作ミスによる速度差大	再起動	同日

表 4-3(1) 1次主循環ポンプ異常報告歴

発 生 年 月 日	異 常 項 目	内 容	処 置
51-6-21	B主ポンプモータ上部軸受排温度高	6月16日1直の時点では軸受排油温度はA B共に28℃であった。その後Bの温度が徐々に上昇し、6月21日3直ではA 28℃, B 39℃となった。原因は空気雰囲気調整系の総合機能試験のため、ポンプ上蓋室雰囲気温度に差が生じたためである。	空気雰囲気調整系の通常運転を行なった
51-7-1	潤滑油圧力低による主ポンプトリップ	2D C/Cの制御電源NFBがトリップし、主ポンプ潤滑油ポンプがD系からC系へ引継いだら油圧低となり主ポンプはトリップした。	潤滑油ポンプスタンバイ機の引継圧力を1.3 kg/cm <sup>2</sup> から1.9 kg/cm <sup>2</sup> に変更した。
51-7-19	外部電源、電圧の変動による主ポンプの異常	外部電源電圧の瞬時変動があり、Aポンプはトリップし、Bポンプは電圧復帰再起動運転を継続した。	Aポンプの「CS」を停止位置とし、Bポンプを手感で停止した。
52-1-7	B-オーバーフローコラムNa液面低による、トリップ	炉容器レベルGL-6100にもかかわらず、B-オーバーフローコラムNa液面計の指示が振動した。	B-オーバーフローコラムNa液面計の異常と判断し、主ポンプを再起動し50%流量とした。
52-5-21	A-主ポンプ油もれ	A-主ポンプモータ軸受部より油が飛散していた。	メカニカルシール部オイルシールをラビリンスシール構造とし戻り配管に空気抜きを取り付けた。
52-5-22	主ポンプ潤滑油戻り温度高	主ポンプB上蓋室の温度が上昇して主ポンプ潤滑油戻り温度が上昇した。(戻り油温48℃)	主循環ポンプ上蓋室用再循環ファンB(B 84-11 B)を運転した。

表 4-3(2) 1次主循環ポンプ異常報告歴

発 生 年 月 日	異 常 項 目	内 容	処 置
52-5-23	主ポンプ(B)上部軸封部潤滑油戻り温度高	主ポンプ(B)上蓋室の温度が上昇して主ポンプ潤滑油戻り温度が上昇した。(戻り油温 51℃)	上蓋室の温度降下に伴い油温度も下る傾向にあるので特に処置は講じなかった。
52-5-29	主ポンプ(B)潤滑油モーター流量計からの油もれ	潤滑油モーター軸受用流量計から油もれがあり、ガラス面が油でぬれていた。又流量計の下に油がたまっていた。	流量計シールゴム止めネジの増し締めにより処置した。
52-8-19	主ポンプAオイルプレッシャユニット油もれ	メカシール油流量計(FI 31.1-51 A)下部から油もれ。	少量なので処置せず。
53-8-23	炉容器Na液面低による主ポンプトリップ	主ポンプ20%流量で運転中炉容器Na液面低によりトリップした。原因は回転プラグケーブリング取外し中ノイズが発生したためと思われる。	
53-8-23	1次系セルビウス軽故障	B-DCL冷却ファンがサーマルトリップを頻繁におこす。	点検の結果サーマルリレー(46)の異常ではなく周囲温度リレー(26)の異常であった為、26の交換を行なった。
53-8-25	1次系セルビウス軽故障	A-SCR Tr冷却ファンがサーマルリレー動作によりトリップした。	
53-12-25	主ポンプ潤滑油ポンプ2 B油もれ	潤滑油ポンプ2 Bのオイルシール部より油もれがあった。もれ量は多くはないが油受けに油が溜っていた。	ポンプオイルシールの劣化によるものど部品交換を行なった。
54-2-8	主ポンプ潤滑油ポンプ1 A油もれ	潤滑油ポンプ1 Aより油がもれ、油受け及びポンプベースに溜っていた。	分解点検後異常無し
54-4-3	主ポンプ潤滑油ポンプ1 A異音	主ポンプ潤滑油ポンプ1 A異音大	再起動後異常無し

表 4 - 3 (3) 1次主循環ポンプ異常報告歴

発 生 年 月 日	異 常 項 目	内 容	処 置
54 - 4 - 4	主ポンプ電流計AとBのアンバランス	主ポンプ電流計がAとBでアンバランスとなった。 定格値は90〔A〕前後だが、B側の電流計が66〔A〕と低い指示を示した。	(B)主ポンプCT, R相の不良 CTおよび負担端子部品を交換後異常無し
54 - 4 - 13	1次主ポンプB潤滑油圧力低	ANN発生。圧力低の為予備機自動起動により2台運転となった。1台を手動切としたが、油圧低の為自動起動してしまう。	1.メカシール圧力を調整(2.2 kg/cm <sup>2</sup> ) 2.流量調整 メカシール 50 ℓ/min モータ 13 ℓ/min
54 - 7 - 9	1次主ポンプNa流量低ANN発生。	Na流量低ANNがA, B同時に発生した	外部ノイズと思われる為特に処置なし。
54 - 9 - 3	1次主ポンプB異音発生	1次主ポンプBのブラシとコミュテータ接触部より異音発生。	この程度の異音は問題ない。ブラシ残使用可能寸法は約10mmあるが今回の点検中に取かえる。
54 - 10 - 13	1次主ポンプA軸封ガス流量指示異常。	V 36.1 - 14 A (軸封ガス締切弁) 全閉にもかかわらず、0.12 ℓ/minの流量指示がある。 V 36.1 - 12 A (軸封ライン前止弁) を全閉しても0.12 ℓ/minのままである。 B側は0 ℓ/min。	流量計のループ較正を行ったら差圧発信器の0スパンが狂っていた。較正後良好である。
54 - 11 - 16	1次主ポンプ潤滑油ポンプ1B異音。	1B潤滑油ポンプから間欠的に異音(ウナリ音)がする。	再起動後異音なし。



表 4 - 3 (4) 1次主循環ポンプ異常報告歴

発生年月日	異常項目	内容	処置
54 - 12 - 13	1次主ポンプB潤滑油ポンプ1B異音及び、吐出配管振動	1B潤滑油ポンプから異音発生、又ポンプ吐出配管に振動がある。	潤滑油ポンプを交換したが、変化がなかった。ポンプ自身からの異音ではないと思われる。 ポンプ用安全弁を新品と交換して逆止弁の分確清掃を行ったら異音振動共消えた
55 - 6 - 16	1次主ポンプ(B)セルビウス装置異音	1次主ポンプ(B)のセルビウス装置コントロールモーターが不感帯があるにもかかわらず回り続けていた。	速度制御回路に使用されているFLS-Rの劣化のため新品と交換した。
55 - 6 - 26	1次主ポンプ(B)セルビウス装置異常	1次主ポンプ(B)の流量がハンチングを発生(180 m <sup>3</sup> /h ~ 320 m <sup>3</sup> /h)し、セルビウスコントロールモーターが正逆転しつづけた。	セルビウス装置中のマイナーループの応答時間に、AループとBループとで約2倍の差が生じていたのでBループのサンプリングコントローラの特性(ON,OFFタイム)をAループの特性に合わせるように調整した。
55 - 7 - 5	A-セルビウス制御系重故障ANN発生	1次主ポンプ流量240 m <sup>3</sup> /hから定格流量まで昇速中にトリップした。	SCRでの転流失敗(直流短絡)が生じたものと推定される点検結果異常は、なかった。

表 4 - 3 (5) 1次主循環ポンプ異常報告歴

発生年月日	異常項目	内容	処置
55-9-15	1次主ポンプ油ポンプ2 A起動不良	定例切換えのため起動したが、起動できなかった。	電源インターロック 条件確認後起動した が異常はなかった。 下部メカシール ドレン弁のリミッ ト不良と思われる V 31.1-61 A, 63 A

## 5. 1次主ポンプの改造

### (1) ポンプ軸とシールブッシュ部の噛り付き防止対策

昭和51年7月22日（総合機能試験時）1次主循環ポンプ起動時にセルビウス重故障の表示と共にA号機がトリップした。トリップ後手回し確認を実施したところ、当初は軽く少し回すことができたが何回か手回しを繰り返している間に手回し可能範囲が減少し、最後に動かなくなった。結局ポンプを分解して原因を調べたところ、軸とシールブッシュ間に噛り付きが生じていることが確認された。

この噛り付きが如何なる要因によるかを明らかにするためポンプの設計、製作、据付及び運転上の問題の有無を調査・解析し、軸とシールブッシュの接触の可能性を検討した。その結果、軸とシールブッシュ間のクリアランスは、シビア側に設定しても接触するとは考えられず、噛り付きの原因は異物（何であるかは不明）の混入によるものと推手された。

検討の結果、ポンプ軸とシールブッシュ間の噛り付き防止として次の対策を講じた。

- ① シールブッシュ部のクリアランスを確保するため各嵌合部の芯ずれを最小限に抑え、かつ据付フランジの熱膨張の影響を排除する。
- ② 万一、シールブッシュ部が接触しても噛り付かぬよう以下の改造を実施する。
  - 従来のラビリンスシールの位置を軸の振れも考慮し、可能な限り上部に移動させ、改造前に比し軸振れに対する接触の相対的影響を相対的に軽減する。
  - ラビリンスシールの摺動面積を減らし、かつ、異物の混入にも強い形状とする。
  - ラビリンスの材質をステンレス鋳鋼から純アルミニウム地金に変え、万一の接触時にもラビリンスがへたって強い接触を起さぬものとした。
- ③ 異物混入が予想されるアルゴンガス供給ライン（シールガス流量計～シールブッシュまで）を洗浄する。

これらの改造をA、Bループ両方に対して実施した。

シールブッシュ改造前後の形状を図5-1に示す。

### (2) 軸受改造

1次主循環ポンプ下部軸受には、ポンプ自身が加圧吐出しているナトリウムを用いていた静圧軸受を採用している。従ってポンプ吐出揚程（すなわち系統全圧損）が低下すると、ポンプ下部軸受性能が低下してしまうことになる。

一方1次冷却系の主循環系には弁等の圧損調節機構を含まないため、炉心体系（主として炉心燃料集合体本数）が変化すると、系統全圧損が変化することになる。炉心の圧損値は、設計当初（調整設計、昭和44年）の予測値（約 $3.6\text{kg/cm}^2$ ）の精度がかなり悪く、その後の炉心構成要素の水、ナトリウムでの流動試験により大巾な修正（約 $2.3\text{kg/cm}^2$ ）が行なわれた。しかし主循環ポンプの設計条件には、その修正が反映されずにいたため、軸受に必要な静圧が十分に確保されない

可能性のあることが判明した。そこで種々検討を重ねた結果、低圧損時に於いても、軸受負荷容量が十分得られるように、ポンプ軸受の改造を行なうこととし、昭和51年7月23日～52年1月6日の間に改造工事を実施した。

静圧軸受の軸受負荷容量は、一般に次式で得られる。

$$P = K \cdot A_E \cdot P_S$$

P : 軸受負荷容量

K : 係数

$A_E$  : 軸受投影面積

$P_S$  : 軸受供給圧

すなわち、軸受負荷容量を増すためには軸受供給圧を一定とすると軸受投影面積を大きくすればよい。そのため軸受部の長さ方向は変更せず、軽径を250mmφから350mmφに改造した。

図5-2に改造前後の軸受構造を示す。

また、この改造に関連し主ポンプ運転制御中の軸受供給圧の確保対策として、A、B主ポンプ速度差運転の制限（速度差45rpmトリップ、30rpm警報）を制御回路に新設した。

### (3) 制御回路の改造

昭和51年5月9日第1回目の運転中瞬時停電（以下瞬停と記す。）があり、主ポンプ制御回路に過電流が発生し1次主循環ポンプは停止に至った。この原因は、直流主回路過電流検出リレーの電圧協調ミスによるものと推定され、その対策を施した。しかし昭和51年7月19日第2回目の瞬停によりA号機が停止し、この時は、ポニーモータが起動しなかった。

このため制御回路の徹底見直しを行なった結果、種々改善すべき点が発見されたため、軸受の改造期間を利用して制御回路の改造を行なった。

52年4月28日シーケンス変更後、初めての瞬停があり、第1回目は瞬停再起動に成功したがその1分20秒後に再瞬停で速度差過大トリップに至った。

(注)  
原因はポンプの現象記録装置が取付けられる以前であったので推定の域を出なかったが、

- ① 速度検出リレー、14M1口、14M2口のどちらかに、経年変化による過渡動作の変化が生じた。
- ② 速度差過大トップ回路の過渡インターロックである瞬時停電検出用リレーに動作タイミングのずれがあった。
- ③ 再起動抵抗投入ずれによる加速時間のアンバランスが発生した。
- ④ 瞬停検出リレーの動作ミスがあった。

が考えられ、制御回路に対する上記①、②、③に関する3つの防止対策を実施した。

対策後の瞬停再起動は、いずれも成功しており、上記対策が的確であったことを裏付けた。

---

(注) 現象記録装置 : 主電動機速度制御装置の各種信号を起動、停止および瞬停の際に記録する装置

(4) 1次主循環ポンプの機械的健全性監視装置について

(1)の経験と、その後、1次主循環ポンプ周方向の温度差によるポンプケーシング変位が指摘されたことから、1次主循環ポンプの機械的健全性を知るために、昭和53年4月にポンプケーシング変位計、ポンプ軸振動計、ポンプ吐出音響計を取り付け、以後、データの採取を行なっている。以下に各監視装置の概要を、図5-3に取り付け位置を示す。

① ポンプケーシング変位計

ポンプアウターケーシングの直角方向2ヶ所に検出座を設け、熱変動等に伴うケーシング変位量を測定する。検出場所は、床下でポンプ吐出管レベルにあり測定用ターゲットをアウターケーシングに取りつけてケーシングの変位を測定、記録している。

② ポンプ軸振動計

ポンプカップリング下部の軸の1ヶ所から振動を検出している。検出座は、オイルシール部の取り付けボルトと一体化し、固定しており、検出器はギャップ・ディテクターを用い軸の振れによるギャップの変動を検出している。

③ ポンプ吐出音響計

ポンプ吐出管の近接部にマイクを取り付け音響を検出することにより、ポンプの異常を察知しようとしている。

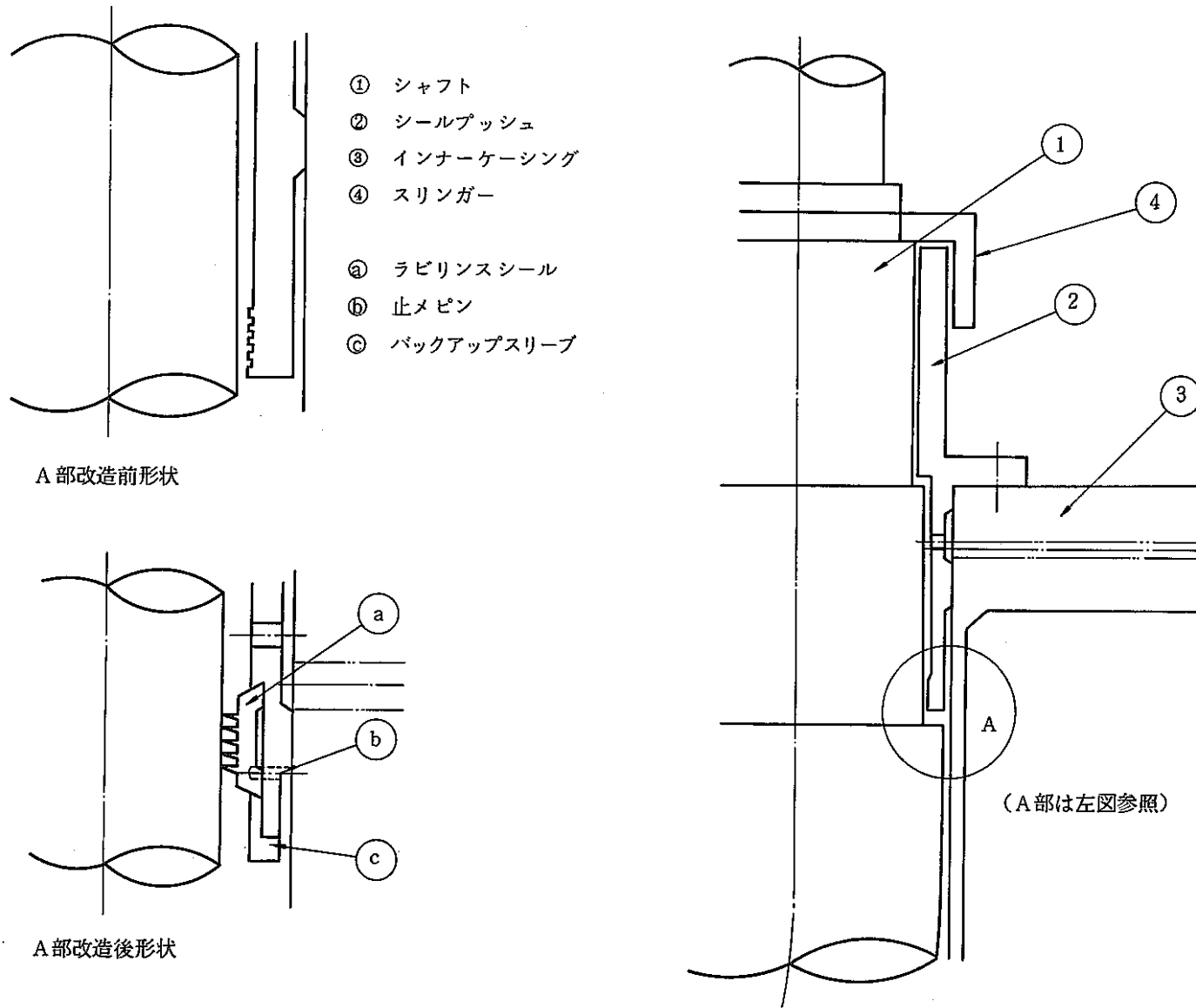


図5-1 1次主循環ポンプシールブッシュ部改造図

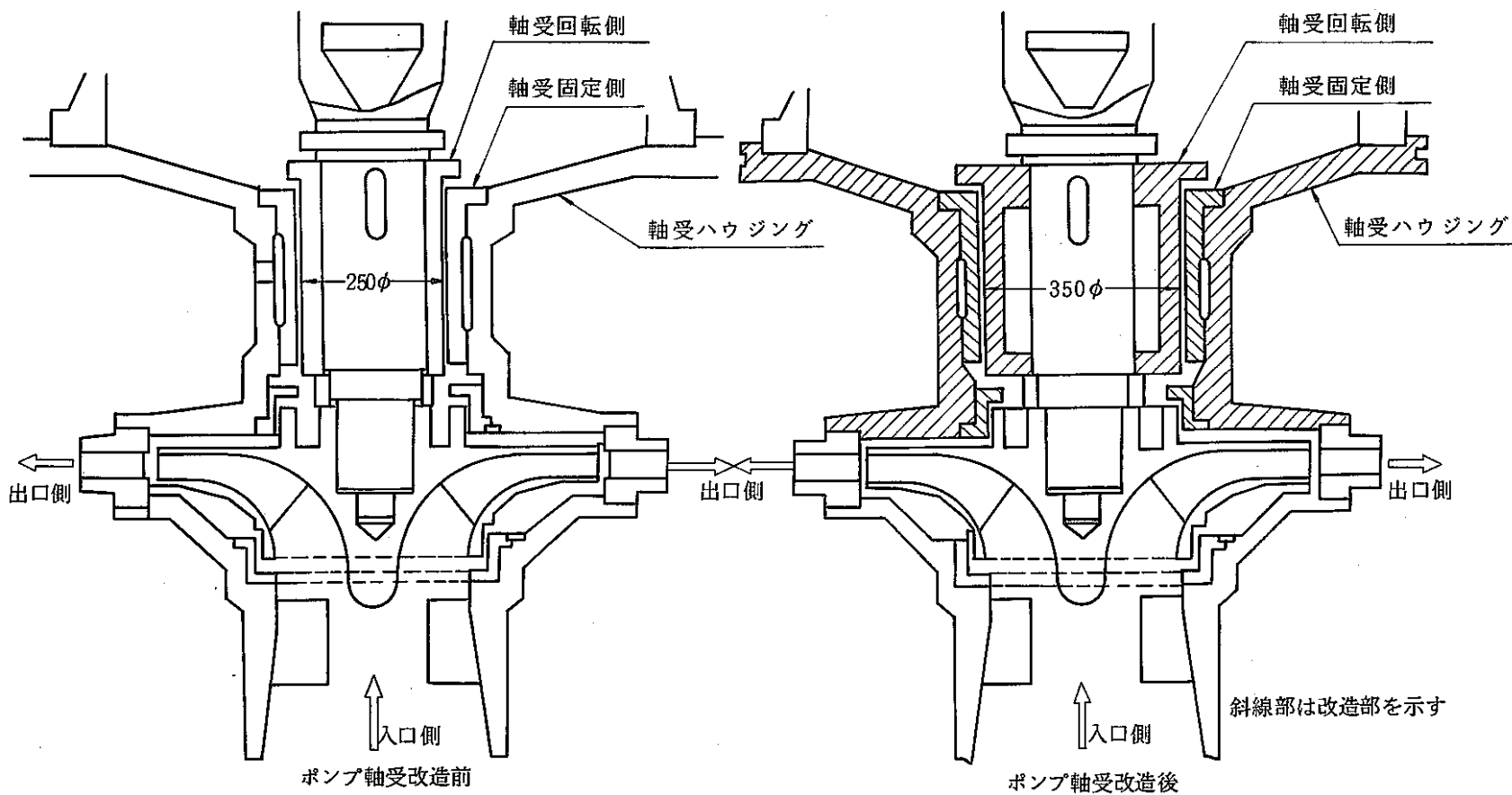
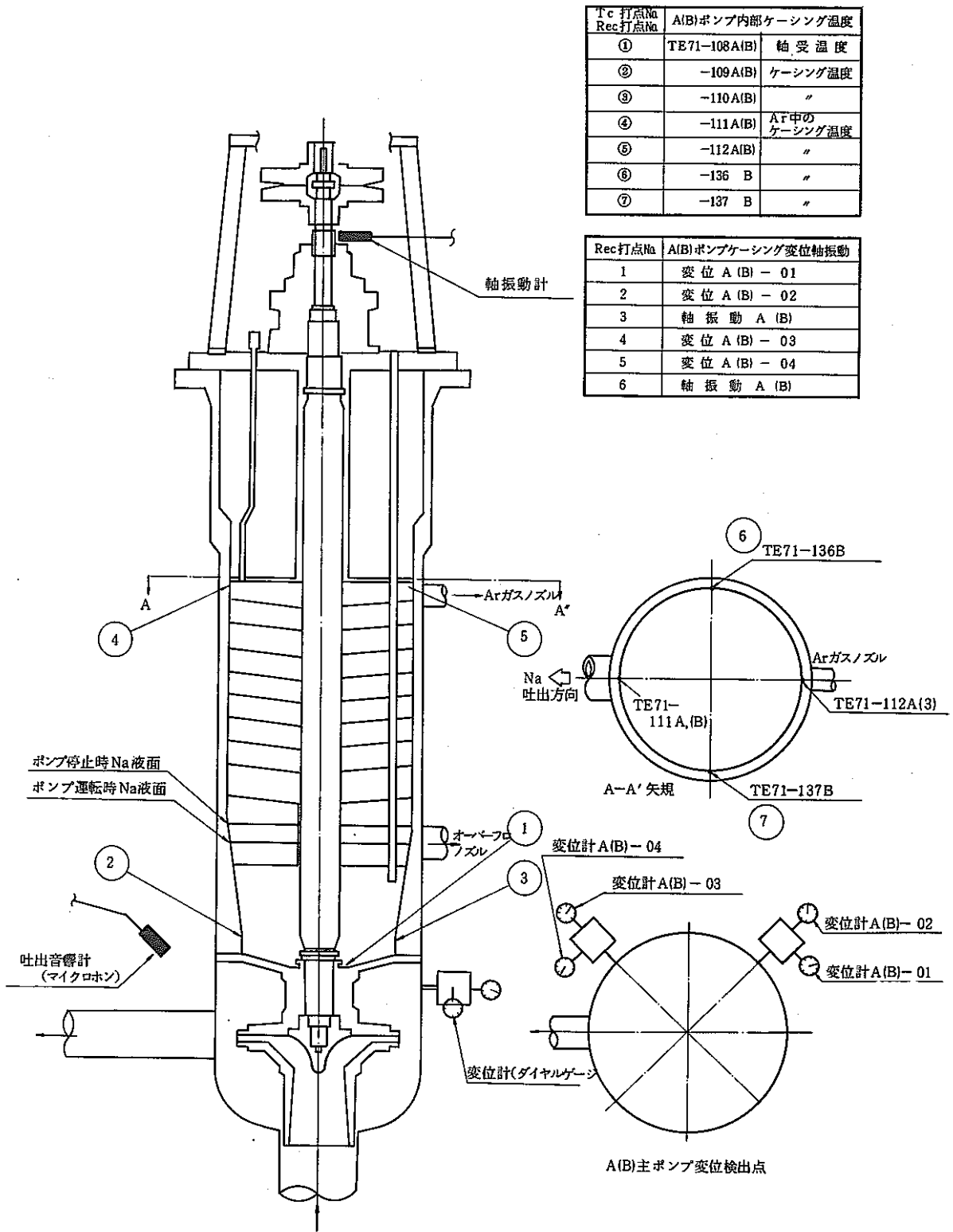


図5-2 1次主循環ポンプ軸受改造図



Tc 打点No Rec打点No	A(B)ポンプ内部ケーシング温度
①	TE71-108A(B) 軸受温度
②	-109A(B) ケーシング温度
③	-110A(B) "
④	-111A(B) A-F中のケーシング温度
⑤	-112A(B) "
⑥	-136 B "
⑦	-137 B "

Rec打点No	A(B)ポンプケーシング変位軸振動
1	変位 A (B) - 01
2	変位 A (B) - 02
3	軸振動 A (B)
4	変位 A (B) - 03
5	変位 A (B) - 04
6	軸振動 A (B)

図5-3 1次主循環ポンプ機械的健全性監視装置検出点位置



## 6. 1次主冷却系統設備の問題とその対策

### 6.1 運転実績からの評価

1次主冷却系機器の中で最も重要な機器として、1次主循環ポンプがあげられる。何らかの原因で1次主循環ポンプおよび、これに関連する諸設備の故障が生じた場合、原子炉の運転停止を余儀なくされる。また、実際に原子炉停止の原因になるものには1次主循環ポンプに関するものが大部分であった。そこでここではまず、1次主循環ポンプの過去に遭遇した問題点を中心にまとめて今後の参考にしたい。表6.1-1の1次主循環ポンプトリップ分類からもわかるように、1次主循環ポンプ本体のトラブルで停止に至ったことは昭和52年の主循環ポンプ軸受改造後は全くなく、ポンプ本体は健全であり順調であった。しかし他の原因（セルビウス関係、オイルプレッシャーユニット、電源設備、誤信号によるもの、誤操作によるもの等）による停止、中でも人為的操作ミスによるトリップ回数が6件もあることは見のがせない点である。表6.1-2の主循環ポンプ異常等報告分類に示すように、オイルプレッシャーユニット関係（15回）セルビウス関係（5回）、主循環ポンプ本体（2回）と、付属設備の異常回数の多いことがわかる。

以上のように見てくると、1次主循環ポンプ本体が健全な状態で維持されたことは1次主循環ポンプについて、

- ・必ず2台運転とし、低吐出圧力での運転をしない。
- ・起動停止はトリップを除いて系統温度200℃～250℃で行なう。
- ・昇速、降速はゆっくり確実に行なう。

などの運転制限を行なったり、シーケンス・インターロックの改造を行なってきた成果とも言える。それとは対照的に、人為的な原因によるトリップが多い点は運転側、保守側ともに機器の構造や特性についてさらに習熟してゆく必要があることを教えている。

### 6.2 系統機器の本質的な問題点

1次主冷却系統および機器をこれまで運転してきた次のような本質的な問題点が明らかとなった。

#### (1) 電圧変動に弱いセルビウス速度制御装置

無段階連続的に速度制御を行なうための静止セルビウス方式は電源の電圧変動に敏感である。したがって落雷等の外部影響により、セルビウス運転から抵抗制御運転に切替え、加速の後、再びセルビウス運転に戻る動作が自動的に行なわれる。その際に1次冷却材ナトリウム流量低低（定格の80% = 1008 m<sup>3</sup>/H）にいたり、原子炉がスクラムされることがわかった。昭和55年3月に抵抗制御運転時の最適速度のための抵抗値になるよう調整を行ない、それ以後はこの問題による原子炉スクラムは経験していないが、MK-II（照射用）炉心移行後は回転数が増加するため再調整が必要であり、今後の課題として残る。瞬時停電時の流量や回転数の変化を図6.2-1、6.2-2に示す。

## (2) 炉容器オーバーフロー配管の熱衝撃

1次主循環ポンプトリップを行なうスクラムの場合は炉容器ナトリウム液面の低下分を、オーバーフローポンプによる汲み上げで復旧するのに75 MW運転時で約10分かかる。この間にオーバーフロー配管（炉容器～オーバーフロータンク）が急冷するため配管熱衝撃防止の目的でその後、約10時間の系統降温作業を行なわなければならない。すなわち、その後の原子炉再起動のために約1日のロスタイムが生じることになり、今後の照射炉としての稼働率に影響する。（図6.2-3参照）

同じことがオーバーフローポンプのトリップによっても起こる。すなわち、オーバーフローポンプが予備機を持たないため原子炉運転中にトリップし短時間（75 MW時には2分）のうちに再起動できない場合は調整棒一斉挿入、ひいては1次主循環ポンプトリップに至る。その後は(3)と同じ経過をたどる。

## (3) 炉容器液面計の測定範囲

炉容器液面計が $-350\text{ mm} \sim +350\text{ mm}$ の計測範囲のため、1次主循環ポンプトリップを伴う原子炉スクラムの場合、特にオーバーフローポンプがトリップした時は、75 MW運転中において約50分で計測範囲を逸脱してしまい液面監視ができなくなるため、1次主循環ポンプオーバーフローコラムの液面計による間接的監視を強いられる。このような状況下では運転員の心理的負担は大きいものがある。（図6.2-4参照）

(1)のセルピウス速度制御装置は、実験炉のゆえに炉心圧損が広範囲に変化しても1次冷却材流量を保つべく選定されたものである。速度を無段階に制御できる長所に対して電圧の微小な変動によって直流回路電流が大きく変化する欠点がある。したがって電圧変動時には抵抗制御運転への一時的切替えはどうしても必要であり、その動作も現在（昭和56年12月）では正確である。しかし、その切替え動作中一時的に流量が低下する際に安全保護系の設定値（定格流量の80%）に近い値となる。したがってMK-II（照射用）炉心に移行後の機器の調整を綿密に行なう必要がある。その成否が今後の運転実績での1次主循環ポンプの評価を左右するものといえる。

(2)については配管の急速冷却の根本的原因が判明していないので、それへの対策がいまだなされていない。したがって前記運転方法を今後とも守ってゆかなければならない。

(3)の問題は測定範囲が狭いことにより、原子炉の健全性を保てないということではない。しかし少なくとも炉心が健全にナトリウム中にあることを示す情報が直接与えられることが、運転員をより落ち着かせ冷静にプラントに対処させるために必要と思われる。より長尺の液面計が技術的に可能であれば、定期校正の正確さ等の問題を含めて、将来の改造が望ましい。

以上の三点は原因・結果として相互に関連するものとなりうる問題で、6.1の運転実績にも大きな影響を与えてきた。そしてポンプを停止せずまた原子炉をスクラムさせないような工夫が鋭意なされてきたが、本質的な問題点が残るかぎり運転性の評価は今後も左右され続けることになる。

表 6.1-1 1次主循環ポンプトリップ分類

分 類	トリップ原因	51年	52年	53年	54年	55年	56年	合計
ポンプ本体	ポンプ軸とシールブッシュ部のり付き	1						1
セルビウス関係	セルビウス制御系重故障					1		1
オイルプレッシャーユニット	潤滑油圧低	1		1				2
電源関係	落雷 瞬停再起動失敗 電圧変動 2D C/C NFBトリップ 3S C/C 電源喪失 6Cトレイヒューズ断 6Dインバーターヒューズ断	1  1 1 1	    1	1	3    1	1		12
計器誤信号によるトリップ	オーバーフローカラムNa液面低(誤信号) 炉容器Na液面低(誤信号)	1	 1	 1	 1	 2		6
誤操作によるトリップ	オーバーフローポンプトリップ 計装点検 ポンプ速度差大				 2 1	1 1	 1	6

表 6.1-2 主循環ポンプ異常等報告分類

分 類	異 常 報 告	51 年	52 年	53 年	54 年	55 年	56 年	合 計
ポ ン プ 本 体	主ポンプ軸受部より油もれ 電流計AとBのアンバランス 主ポンプ異音		1		1 1			3
セ ル ビ ウ ス 関 係	セルビウス軽故障 セルビウス装置異常 セルビウス制御系重故障			2		2 1		5
プ レ ッ シ ャ ー ユ ニ ッ ト	潤滑油ポンプ油もれ 流量計からの油もれ 潤滑油戻り温度高 潤滑油圧力低 潤滑油ポンプ異音 潤滑油ポンプ起動不良	1 1	1 2	1 1	1 3		1	13
そ の 他	(誤信号, 瞬停等)	1	1	1	2			5

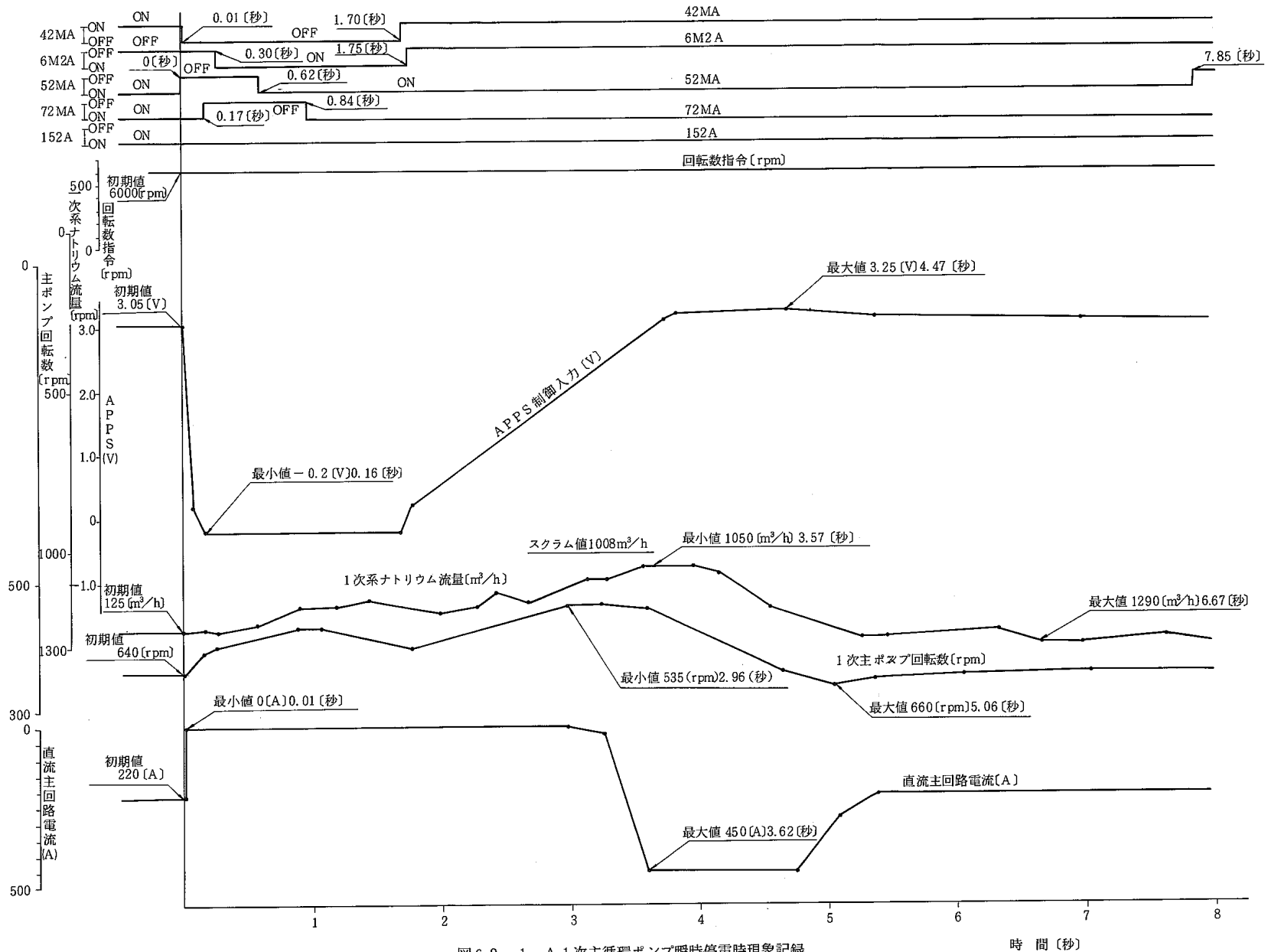


図 6.2-1 A 1次主循環ポンプ瞬時停電時現象記録

昭和 55 年 12 月 25 日 05 時 50 分

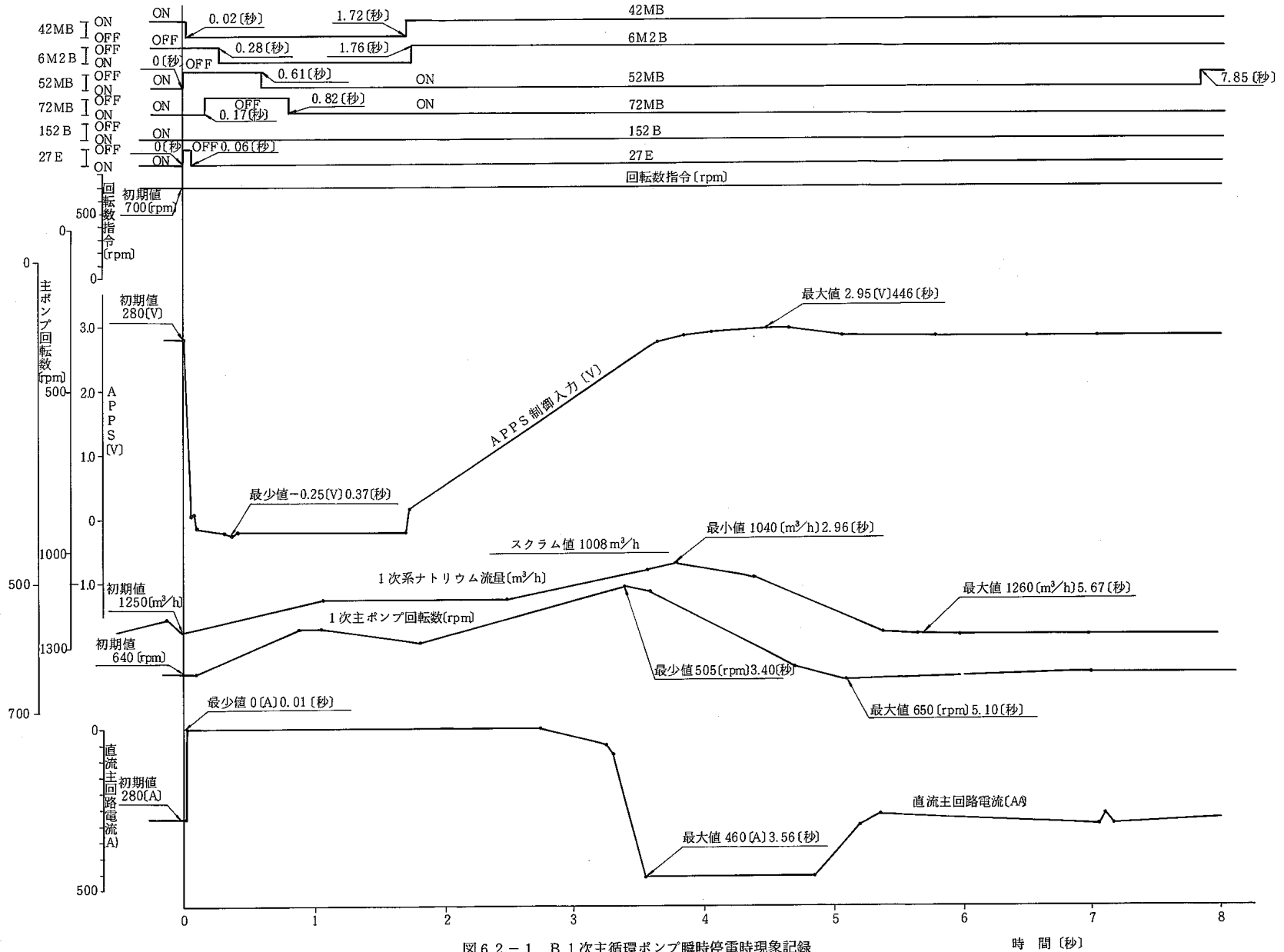


図 6.2-1 B 1次主循環ポンプ瞬時停電時現象記録

昭和 55 年 12 月 25 日 05 時 50 分

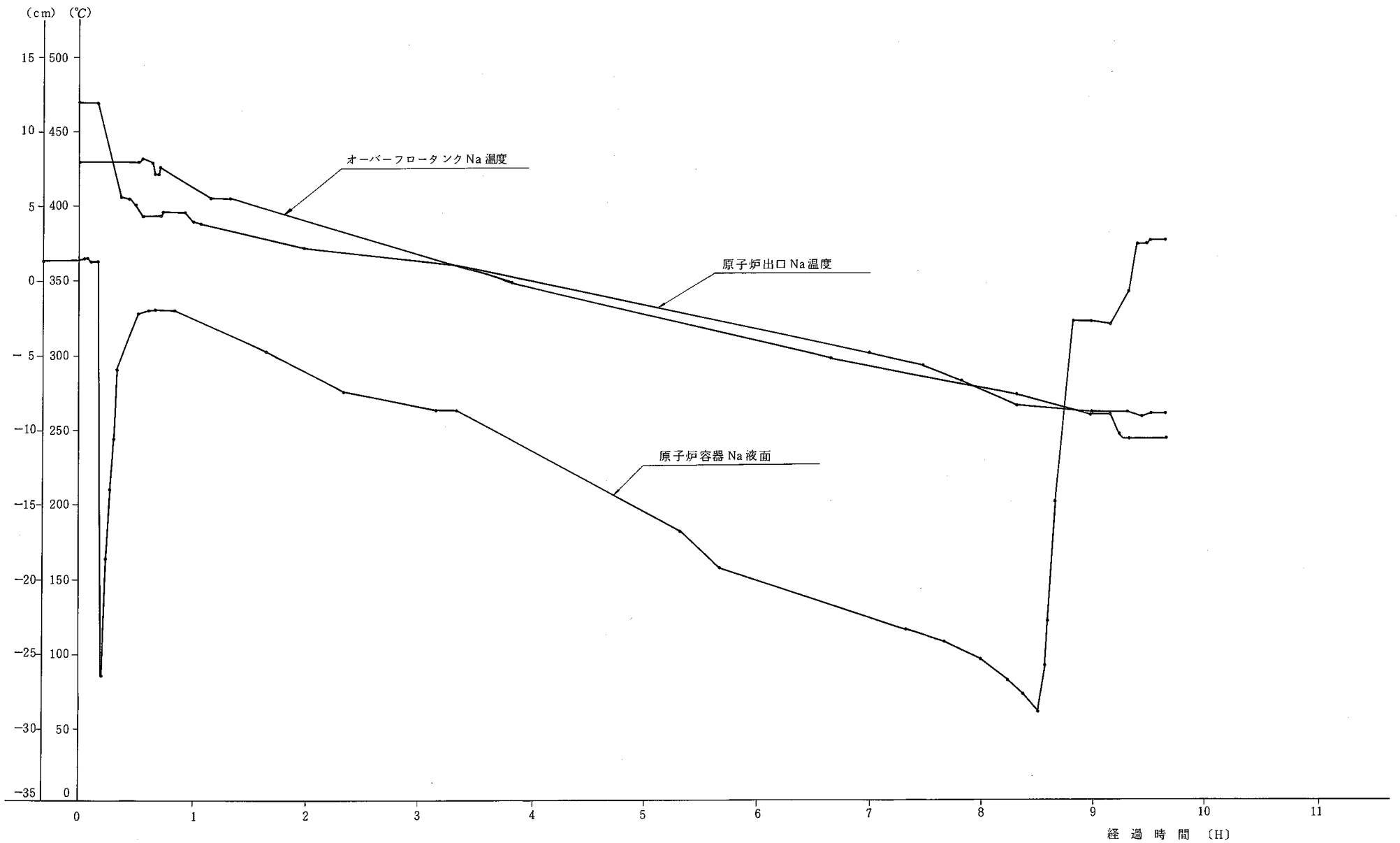


図 6.2-3 1次主循環ポンプトリップおよび系統降温に伴う原子炉容器ナトリウム液面変化  
(75 MW, 外部電源喪失, 1979年8月13日)

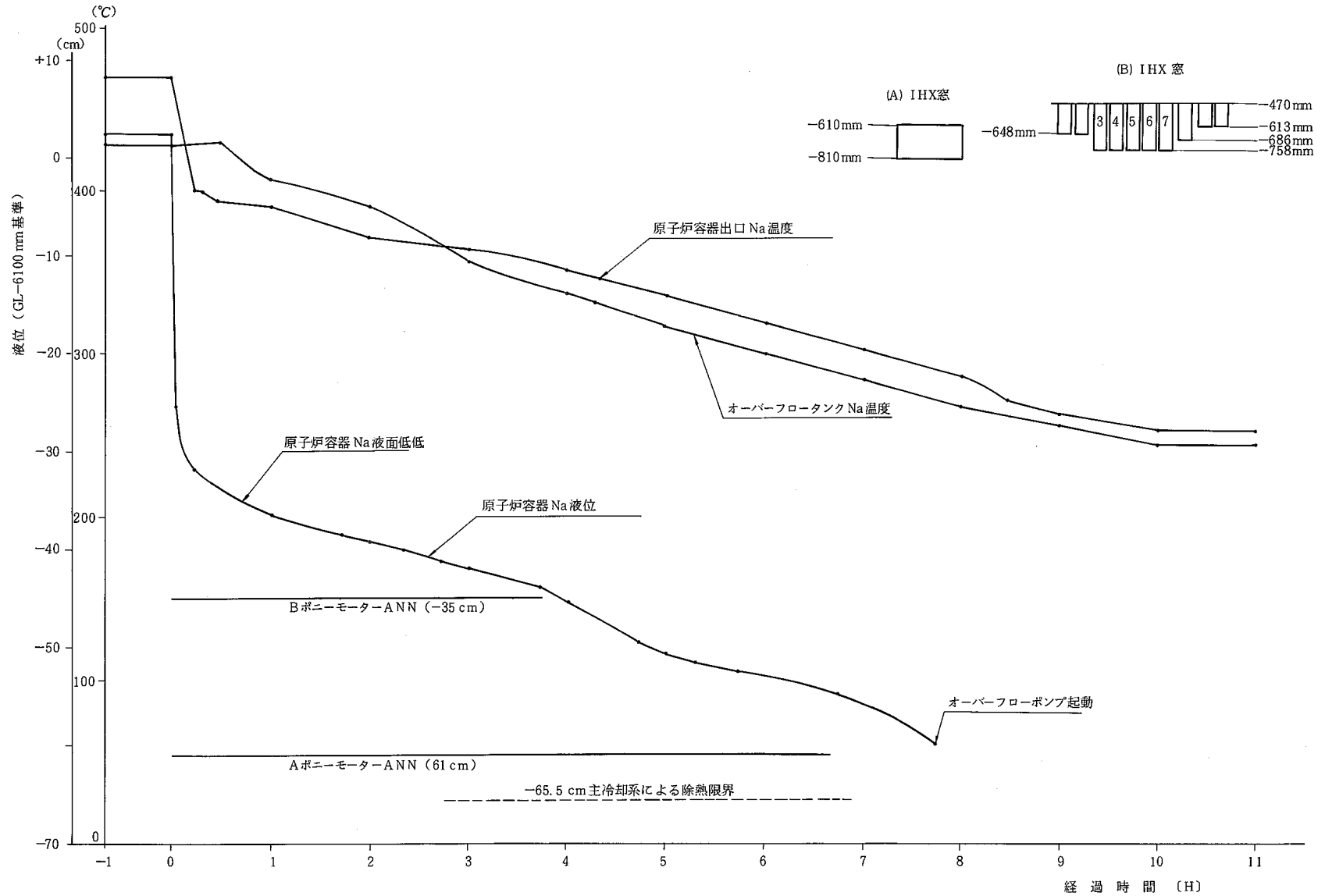


図 6.2-4 75 MW 運転時オーバーフロー停止時状態移行予想図 (基準 54.8.13 75 MW 電源喪失試験)



## 7. 結 言

「常陽」1次主冷却システムの約6年間の運転、保守の履歴を要約すると以下のとおりである。

- (1) 初期のナトリウム充填から、75 MW第6サイクル運転終了までの1次系ナトリウム充填時間は約40,000時間である。
- (2) この期間における原子炉の運転時間は約13,000時間である。
- (3) この期間における主循環ポンプの運転は約38,000時間であり、ポンプ軸受改造後は約35,000時間である。
- (4) この期間内における主循環ポンプの起動、停止回数は、348回であり、その内計画外トリップは27回である。
- (5) 唯一の大きな故障は、総合機能試験中の主循環ポンプ軸シールブッシュ部のスティックでありシールブッシュ部の構造および材質を変更し、また静圧軸受部の改造をしてからは以後順調な運転を続けている。
- (6) 瞬時停電による主循環ポンプトリップを回避するための瞬時停電再起動回路は、初起動以後、昭和55年1月まで改造、調整を繰り返し、1.5秒以内の停電では原子炉スクラムに至らず、運転を継続できるようになった。
- (7) 主循環ポンプの運転状態を監視し、特性を把握するために設けられたセルビウス現象記録装置および、ポンプケーシング変位計、同軸振動計等により、異常停止時や起動時の諸特性および昇温、降温時のケーシングの動きなどに関するデータが得られるようになった。また、1次冷却系の本質的問題として以下の事項があり、照射炉としての稼働率向上の観点からも今後の検討が必要である。
  - ① 瞬時停電による1次主循環ポンプの瞬時停電再起動において、抵抗速度制御に比べ静止セルビウス制御は主循環ポンプ回転数の立ち上がりがにぶいため、1次冷却材流量低低(1008m<sup>3</sup>/h)となり原子炉スクラムに至る可能性がある。
  - ② 原子炉75 MW運転時に原子炉スクラムが発生した場合、オーバーフロー配管の熱衝撃対策のため原子炉再起動までに約10時間かかる。
  - ③ 1次主循環ポンプのトリップによる原子炉スクラムが発生した場合には、約1時間後(75 MW運転時)には、炉容器ナトリウム液面は、測定下限(-350 mm)以下となるため、1次主循環ポンプオーバーフローコラムの液面計による間接的な監視を強いられるので運転員の負担が大きくなる。

MK-I(照射用)炉心における以上の経験を基に運転技術の向上に勉め、さらに将来炉のための運転データの蓄積を行なってゆきたい。

## 8. 参 考 文 献

- (1) PNC SN941 79 - 140  
高速実験炉「常陽」運転試験報告書  
1次主循環ポンプの運転経験
- (2) PNC SN941 80 - 140  
高速実験炉「常陽」運転試験報告書  
1次オーバーフロー系の運転特性