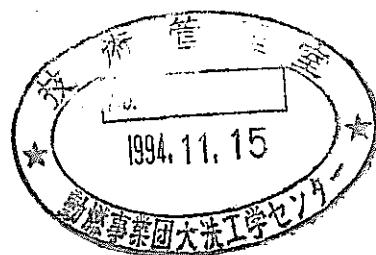


五 分 変 更	
変更箇所	七三三
決定年月日	平成 13 年 7 月 3 日

高速実験炉「常陽」運転経験報告書

1次・2次予熱電気ヒータ運転経験

1994年7月



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)

社内資料
PNC-TDN9440 94-015
1994年7月



高速実験炉「常陽」運転経験報告書

1次・2次予熱電気ヒータ運転経験

寺野 壽洋, 青木 裕
大久保利行, 田村 政昭

要旨

高速実験炉「常陽」の予熱電気ヒータ設備は、1975年1月の総合機能試験から、1993年3月末までの約18年にわたり、大きなトラブルもなく順調に運転を継続してきた。

この間多くの運転・保守経験が得られている。

本報告書は、予熱電気ヒータ設備の運転・改造履歴及び運転特性を総括的にとりまとめたものである。



OFFICIAL USE ONLY
PNC PN9440 94-015
July, 1994

Experimental Fast Reactor JOYO Operation Experience Report

Operation Experience of the Electric Preheating System

T.TERANO, H. AOKI

T. OKUBO, and M. TAMURA

Abstract

The electric preheating system of JOYO has been operated without any serious problems since its functional acceptance test in 1975. Much of operation and maintenance experiences during 18 years after start up of the system have been accumulated.

This paper describes a summary of operation experience of the electric preheating system.

目 次

1. 緒 言	1
2. 予熱電気ヒータ設備の概要	2
2. 1 概 要	2
2. 2 構 成	5
2. 2. 1 電気ヒータ	5
2. 2. 2 電気ヒータ制御設備	5
2. 2. 3 電気ヒータ電源設備	6
2. 3 設計条件	6
2. 3. 1 溫度条件	6
2. 3. 2 予熱時間	7
2. 3. 3 霧囲気条件	7
2. 3. 4 電気ヒータ供給電源	7
2. 3. 5 耐震クラス	7
2. 3. 6 耐熱、耐放射線設計	7
2. 4 ヒータエレメント	8
2. 5 ヒータ取付方法	9
2. 6 制御設備	10
2. 6. 1 1次予熱ヒータ設備	10
2. 6. 2 2次補助予熱ヒータ設備	16
2. 6. 3 2次予熱ヒータ設備	16
2. 7 電源設備	24
3. 予熱電気ヒータの運転履歴	27
3. 1 運転履歴	27
3. 2 補修・改造・更新履歴	34
3. 2. 1 設備補修履歴	34
3. 2. 2 改造、更新履歴	50

(1) 2次系予熱ヒータの交換	50
(2) 2次予熱ヒータ制御系の更新	56
(3) オーバフロー系配管熱衝撃軽減化のためのヒータ補強	64
 4. 予熱電気ヒータの各種試験結果	72
4.1 総合機能試験	72
4.1.1 1次系予熱試験	72
4.1.2 2次系予熱試験	74
4.2 運転特性試験結果	76
4.2.1 保温材特性試験	74
4.2.2 予熱ヒータ電源喪失試験	78
4.2.3 電力消費量の確認試験	86
(1) プラント安定時の調査	86
(2) プラント運転状態での調査	87
(3) 2次補助系調査	88
(4) 原子炉運転状態別の比較調査	89
(5) 2次主ポンプ低流量運転による予熱ヒータ消費電力量調査	92
 5. 予熱ヒータの特殊な運用	93
5.1 オーバフロー系配管熱衝撃対策によるヒータの運用	93
5.2 2次系Na ドレン時の主IHX ドレンラインフリーズ経験	97
5.3 アイソレーション発生時のAr カバーガス系負圧防止対策	101
 6. 考 察	102
 7. 結 言	103
 8. 参考資料	104

1. 緒 言

「常陽」の予熱電気ヒータ設備は、設置以来18年以上の運転を継続してきた。この間特に大きな不具合も無く現在に至っている。

本報告書は、予熱電気ヒータ設置から現在までの運転・補修履歴及び運転特性を総括的にとりまとめたもので、期間内に発行された報告書、メモ類により抜粋して編集したものである。

2. 予熱電気ヒータ設備の概要

2.1 概 要

予熱電気ヒータ設備は、原子炉冷却系統設備の1次及び2次冷却系統に設置されている。

1次予熱電気ヒータ設備は、1次冷却系統の機器・配管類の予熱及びナトリウムフリーズ部の再溶解を行うために、別に設置される予熱窒素ガス系統設備（2重管配管部の予熱を行う）と合わせ、1次冷却系統内ナトリウムの溶融保持を行う。

一方、2次予熱電気ヒータ設備は、2次冷却系統の機器・配管類を加熱することにより、2次冷却系内ナトリウムの溶融保持、昇温、及び中間熱交換器を介して1次冷却系統内ナトリウムの昇温を行うことを目的とするものである。図2.1-1及び図2.1-2にそれぞれ1次系、2次系予熱ヒータの設置範囲図を示す。

電気ヒータの取付方法には直接式と間接式がある。直接式は電気ヒータを、機器・配管にステンレス鋼製バンドで直接接触固定し、熱伝導により加熱する方法である。間接式は弁、空気冷却器等の直接式加熱が適さないものに対し、被加熱体を覆う箱又はダクト内に電気ヒータを設置し、輻射熱及びダクト内雰囲気の加熱により機器を加熱する方式である。

予熱設備は原子炉停止中の系統の温度保持に使用される他、原子炉の運転中においても常時溶融の必要な箇所に使用される。

予熱電気ヒータ設備の温度制御は被加熱体を温度計測し、これによる温度信号により電気ヒータの電源回路を開閉するON-OFF制御である。

予熱電気ヒータの電源は非常系に接続される専用のパワーセンタ設備により給電される。

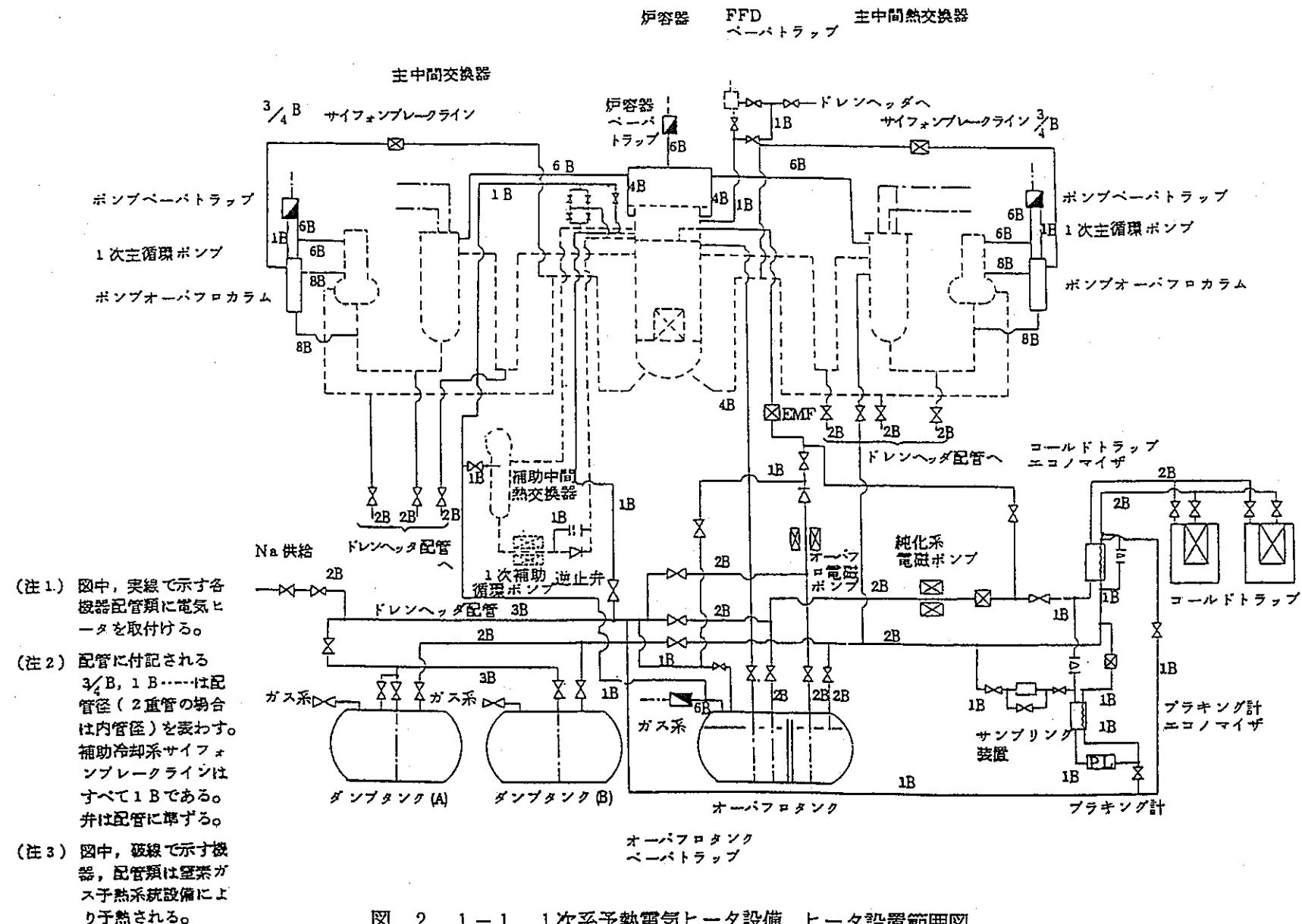
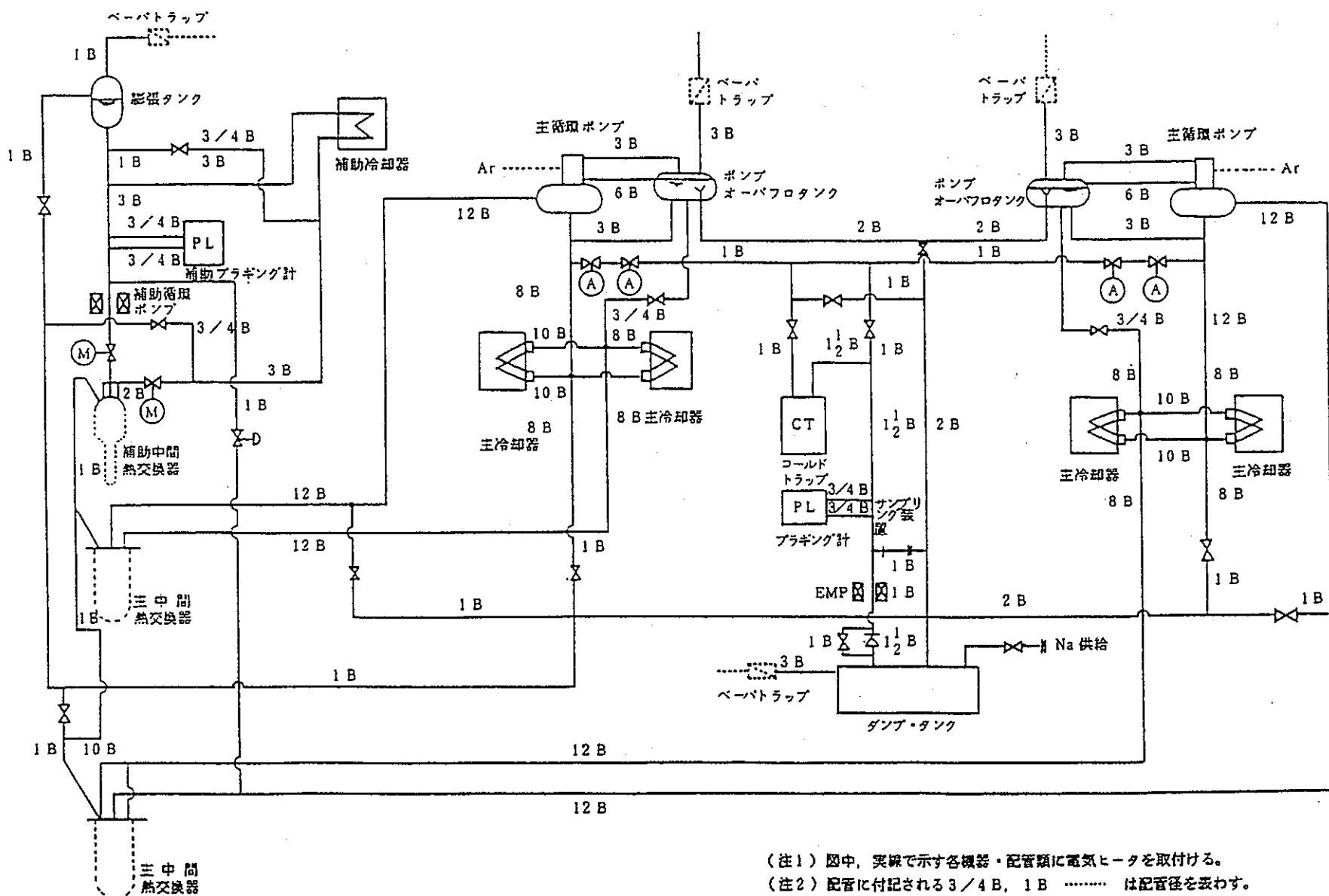


図 2. 1-1 1次系予熱電気ヒータ設備 ヒータ設置範囲図



(注1) 図中、実線で示す各機器・配管類に電気ヒータを取付ける。

(注2) 配管に付記される 3/4 B, 1 B は配管径を表わす。

井は配管に準ずる。

図 2.1-2 2次系予熱電気ヒータ設備 ヒータ設置範囲図

2.2 構成

予熱電気ヒータ設備は次の各部分より構成される。

2.2.1 電気ヒータ

シーズヒータを使用する。シーズヒータはヒータシースであるメタルチューブ内にラセン状の電熱線を置き、酸化マグネシウムを充填し絶縁固定した形式のものである。端子部は発熱しないリード線を電熱線に取付け電極とし、ケーブル接続用のコネクターと一緒に構造としている。

電気ヒータは被加熱体の形状、寸法及び所要容量により、径、長さの異なるエレメントを用いる。

予熱電気ヒータ設備は次の各ヒータにより構成される。

- (1) 1次主冷却系電気ヒータ
- (2) 1次補助冷却系電気ヒータ
- (3) オーバーフロー系電気ヒータ
- (4) 1次ナトリウム純化系電気ヒータ
- (5) 1次ナトリウム充填ドレン系電気ヒータ
- (6) 1次アルゴンガス系電気ヒータ
- (7) 2次主冷却系電気ヒータ
- (8) 2次補助冷却系電気ヒータ
- (9) 2次ナトリウム純化系電気ヒータ
- (10) 2次ナトリウム充填ドレン系電気ヒータ
- (11) 2次アルゴンガス系電気ヒータ

2.2.2 電気ヒータ制御設備

予熱電気ヒータ設備の制御設備は、予熱操作指令と異常状態を監視する予熱ヒータ操作盤、及び配管・機器等の温度を検出して、温度コントローラにより、制御指令を与える予熱ヒータ温度制御盤とからなる。

予熱温度は熱電対により検出され、温度コントローラにより設定温度に制御される。予熱温度が設定温度に対し定められた範囲を逸脱した場合には警報を発する。

電気ヒータ制御設備は次の各設備より構成される。

- (1) 1次主冷却系予熱ヒータ温度制御盤
- (2) 1次補助冷却系予熱ヒータ温度操作盤

- (3) 2次主冷却系予熱ヒータ温度制御盤
- (4) 2次補助冷却系予熱ヒータ温度制御盤
- (5) 热電対（温度計測装置）
- (6) 制御ケーブル

2.2.3 電気ヒータ電源設備

予熱電気ヒータ設備の電源設備は、電気ヒータ回路を開閉する電磁接触器等を内蔵する予熱ヒータ接触器盤であり、非常系 1 HC, 1 HD (1次系)、2 HC, 2 HD (2次系) のパワーセンタに接続され、機器配管類に取付られる電気ヒータに給電する。

電源設備は次の各設備により構成される。

- (1) 1次冷却系予熱ヒータ接触器盤
- (2) 2次主冷却系予熱ヒータ分電盤
- (3) 2次主冷却系予熱ヒータコントロールセンタ
- (4) 2次補助冷却系予熱ヒータコントロールセンタ
- (5) 動力ケーブル

2.3 設計条件

2.3.1 溫度条件

(1) 設計目標温度

1次系一般機器、配管及び弁類 150 °C～230 °C (注 1)

2次系一般機器、配管及び弁類 180 °C～220 °C (注 2)

ベーパトラップ 300 °C～360 °C (注 3)

(注 1) 機器、配管類の予熱温度の目標値であり、内部ナトリウムはこれら温度範囲内に保持される。下限値150°Cは1次ナトリウム中酸素濃度 10 ppm の飽和温度150°Cにより、上限値230°Cは温度制御巾の上限値により、それぞれ定められた値である。

(注 2) 機器、配管類の予熱温度の目標値であり、内部ナトリウムはこれら温度範囲内に保持される。下限値180°Cは1次ナトリウム中酸素濃度 20 ppm の飽和温度180°Cにより、上限値220°Cは温度制御巾の上限値により、それぞれ定められた値である。

(注 3) ベーパトラップの予熱電気ヒータは再生時に使用され、この値は要求されるナトリウム再生温度300°C～360°Cから決定した値である。

(2) 制御温度

1次系一般機器、配管及び弁類 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (注 4)

2次系一般機器、配管及び弁類 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (注 5)

ベーパトラップ $330\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (注 6)

(注 4) 設計目標温度の下限値 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ を確保するのに十分な制御温度として余裕をみて定めた値である。

(注 5) 設計目標温度 $180\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$ を確保するのに適切な値として定めた値である。

(注 6) 設計目標温度 $300\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 360\text{ }^{\circ}\text{C}$ を確保するのに適切な値として定めた値である。

2.3.2 予熱時間

1次系予熱 100 時間 (注 7)

2次系予熱 200 時間 (注 7)

(注 7) Na未充填の状態で雰囲気温度から $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ までの昇温に必要な時間として、原子炉の運転に関する予熱計画により定めた値である。

2.3.3 雰囲気条件

(1) 雰囲気温度 (外部温度)

1次系雰囲気温度 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (注 8)

2次系雰囲気温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (注 9)

(注 8) 格納容器内窒素雰囲気温度 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ より定めた値である。

(注 9) 主冷却器建家内雰囲気温度の平均値を考慮し定めた値である。

(2) 放熱状態

自然放熱

2.3.4 電気ヒータ供給電源

$3\phi, 50\text{Hz}, 200\text{V}$ (1次系及び2次系)

$1\phi, 50\text{Hz}, 100\text{V}$ (1次系の一部)

2.3.5 耐震クラス

C

2.3.6 耐熱、耐放射線設計

格納容器内窒素雰囲気に設置する1次予熱電気ヒータ設備は熱及び放射線条件を考慮し、原子炉付属建家及び主冷却機建家に設置する予熱電気ヒータ設備は熱条件のみを考慮し、設計されている。

2.4 ヒータエレメント

ヒータエレメントには、シーズヒータ及びシーズヒータの一種であるカートリッジヒータが用いられている。

両者の相違は、シーズヒータはコネクタが両端にあるのに対し、カートリッジヒータはコネクタが片端のみ取付けられている点にある。カートリッジヒータは取付が一方向からしかできないような加熱対象物には非常に有効である。

中心にある発熱体はコイル状に作られ、その周囲は酸化マグネシアで絶縁され、ステンレスシース内に埋められている。

発熱体とシースの間の絶縁体である酸化マグネシアは、粉末であり振動を加え充填密度が高められている。酸化マグネシアは、高温における安定性、熱伝導性、電気絶縁性が他の絶縁体として使用される酸化化合物 (SiO_2 、 Al_2O_3 等) より優れているため最も多く使用される。

予熱用に使用されるヒータとしては、シーズヒータの他に発熱体が単線であるマイクロヒータがあるが、シーズヒータの方が機械的強度に優れ、コイル形状により熱応力に対しても有利である。また端子部の構造が単体である等の理由からシーズヒータが使用される。

ヒータエレメントの仕様を以下に示す。

(1) 形式

シーズヒータ

カートリッジヒータ

(2) 主要寸法

外 径 1.6~20mm ϕ

有効長 0.1~5.5m

(3) 主要材質

シース SUS316

芯 線 ニクロム

絶縁体 酸化マグネシア

(4) 定格容量

0.02~4.5Kw/本

2.5 ヒータ取付方法

(1) 一般配管、一般機器 〔直接加熱方式〕

被予熱体表面に予熱ヒータを専用の金具で固定した後、ステンレス製のカバーシートで被覆し、その外周に保溫及び外装板を施工してある。

(2) ナトリウム弁、NaK変換器、1次ナトリウム充填ドレン系ナトリウム供給系配管、フルートヘッド部配管、空気冷却器伝熱管、2次コールドトラップ下部、2次ナトリウムサンプリング配管 〔間接加熱方式〕

被加熱物を覆う箱又はダクト内にヒータを挿入して、空気による熱伝導又は輻射によって間接的に予熱する。

(3) 安全容器内配管、1次ナトリウム充填ドレン系、ナトリウム供給系配管コンクリート貫通部（フルートヘッド取合部、シールベローズ取合部）〔直接加熱方式〕

ウエルを被予熱体にバンドで固定した後、ウエル内にヒータを挿入取付け、その周囲に保溫及び外装板を施工してある。

(4) 1次ナトリウムサンプリング装置 〔間接加熱方式〕

ナトリウムサンプリング装置のコイル用ポット内部に、コイル状に加工したヒータを専用金具で固定し、コイル用ポットの外周に保溫及び外装板を取付け、更にその外周に放射線遮蔽体を施工してある。

(5) 1次コールドトラップ〔直接加熱方式〕

コールドトラップ外壁に、予熱ヒータを専用の金具で固定した後、ステンレス製のカバーシートで被覆し、その外周に保溫及び外装板を取付け、更にその外周に放射線遮蔽体を施工してある。

(6) ベーパトラップ〔直接加熱方式〕

ベーパトラップ外壁に予熱ヒータを専用の金具で固定し、その周囲を箱型の熱遮蔽体で囲ってある。

2. 6 制御設備

2. 6. 1 1次予熱ヒータ設備

(1) 設備概要

1次予熱ヒータ設備は、予熱操作指令及び異常状態を監視する予熱ヒータ操作盤（オペコン）、温度コントローラを内蔵した予熱ヒータ制御盤、配管機器等の温度検出器（熱電対）及び予熱ヒータ供給電源を開閉するための電磁接触器を内蔵した予熱ヒータ接触器盤より構成されている。

予熱温度は、熱電対により検出され、温度コントローラにより目標温度に制御される。

制御範囲を逸脱し警報点に達した場合は、温度高・低で警報表示される。

(2) 装置構成

1次予熱ヒータ制御装置は、図2. 6-1に示す様に、配管機器等に設置された温度検出器熱電対、予熱ヒータ制御盤、予熱ヒータ供給電源開閉用電磁接触器盤及び中央操作盤上に設置された警報器で構成される。

装置の中心となる予熱ヒータ制御盤は装置構成図に示すとおり11面で構成されている。これらは、予熱パターン及び制御対象ヒータ用選択スイッチから成るオペコンユニットと警報器を収納した操作盤1面、I C（集積回路）式演算増幅器を使用したm v/V変換器を中心とする温度コントローラを最大45台収納した制御盤8面、フリーズシール部ヒータ制御用V P 81型温度調節器を収納した温度計器盤1面及び外部ケーブル引込用中継端子盤1面より構成されている。

中継端子盤には警報用リレーユニットが収納されている。

(3) 装置機能

本制御装置の機能は、図2. 6-2のブロックダイアグラムに示すとおりであり、図2. 6-3のロジックにより制御される。

オペコン上のグループ選択スイッチにより選択されたヒータは、リレーユニットを通して、与えられた制御指令により動作する温度コントローラに導かれる。

予熱温度は熱電対で検出し、温度コントローラへ帰還されることにより、設定温度と熱電対で検出した実予熱温度が一致するまで電磁接触器のON-OFF制御が行われる。尚、予熱温度が警報設定値を越えると警報窓(ANN)に表示される。

図2. 6-4にグループ選択スイッチ及び温度コントローラ(TICS)の操作方法を、表2. 6-1に予熱パターン変更により制御対象となる予熱グループの一覧を示す。

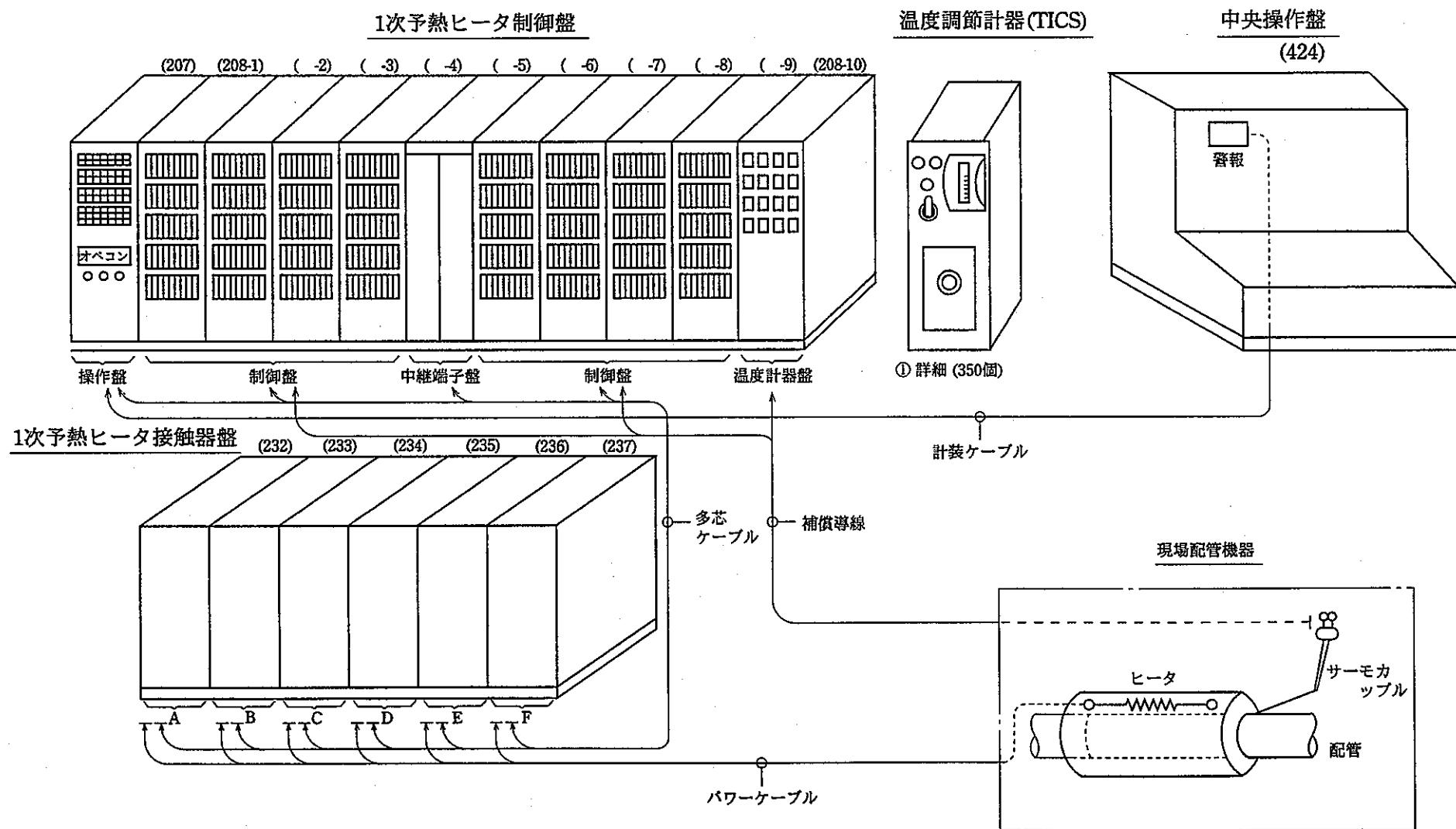


図 2.6-1 装置構成図

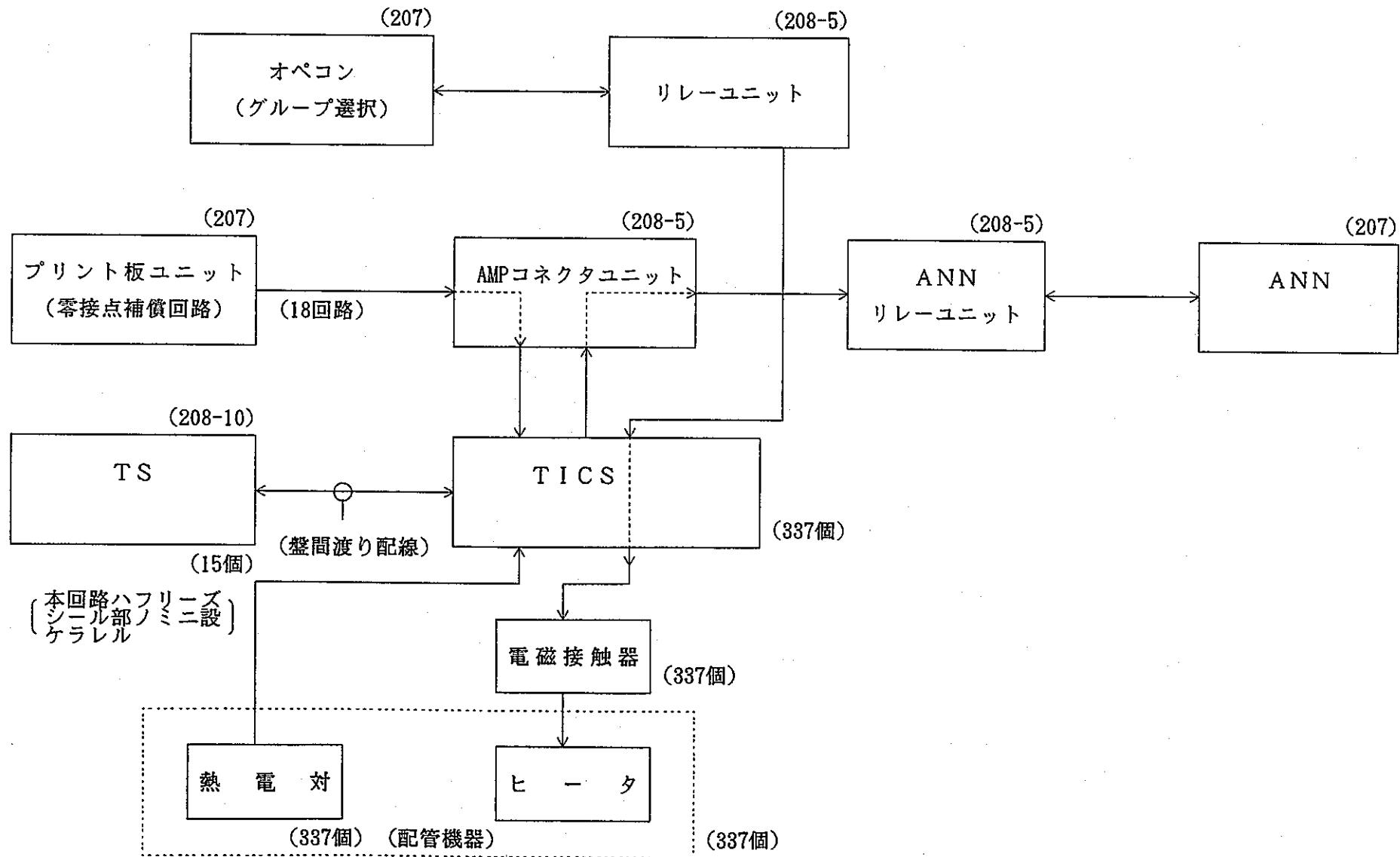


図2.6-2 ブロックダイアグラム

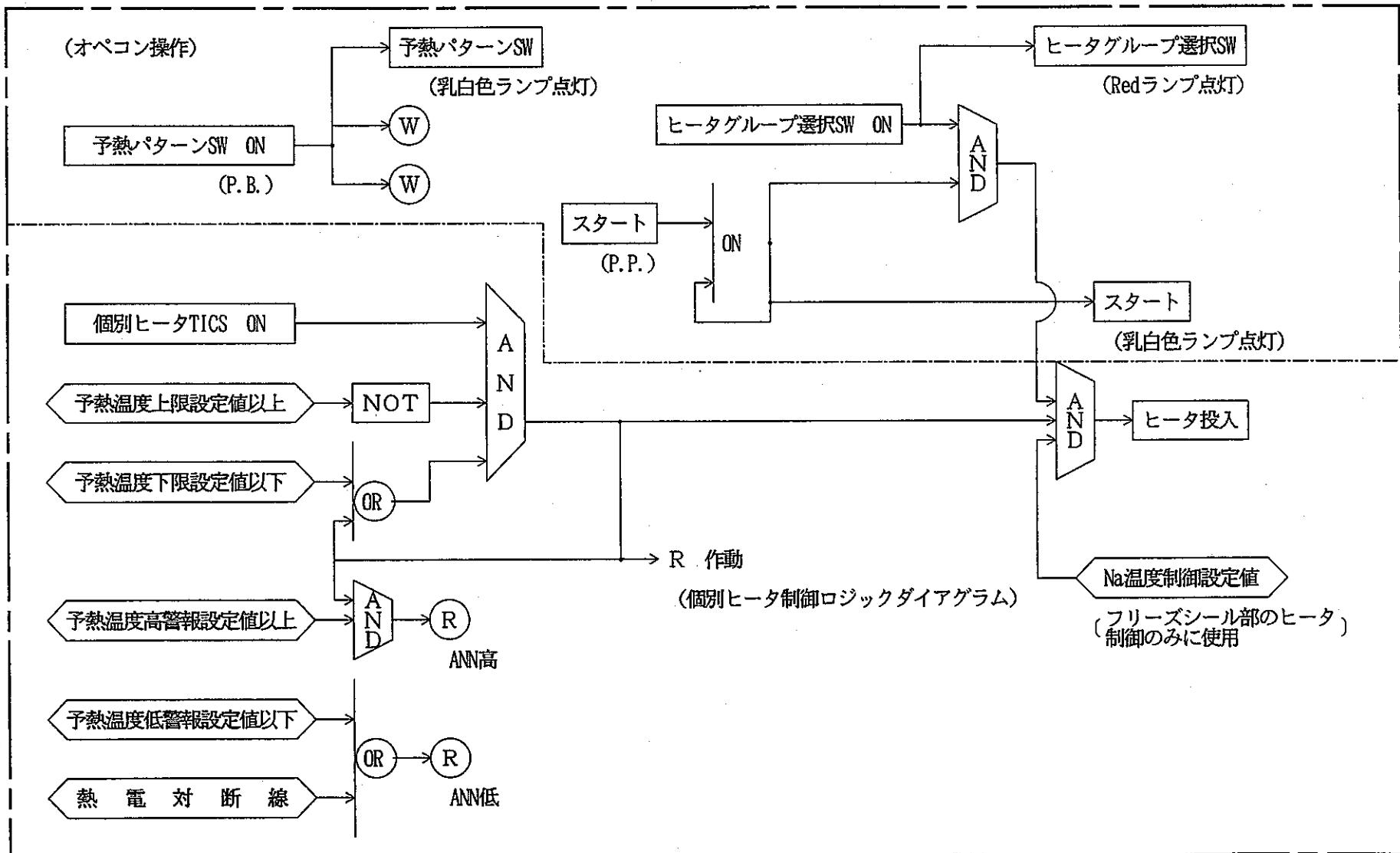


図2.6-3 ロジックダイアグラム（動作シーケンス）

① オペレータコンソール

TICS説明

- 温度設定は温度設定用つまみにより設定する。
- トグルスイッチ「ON」及びグループCS（操作用PB）「ON」により予熱ヒータは、設定温度±制御範囲にて予熱制御を開始する。
- 作動⑩ランプ点灯時はヒータ通電中を意味する。
- 温度計には、予熱制御点温度が指示される。
- 低⑩ランプ点灯は、予熱温度が予熱温度低の警報点に達した事を意味する。
- 高⑩ランプ点灯は予熱温度が予熱温度高の警報点に達した事を意味する。

② 温度調節計器(TICS)

予熱操作

順序	操作又は確認
1	予熱制御温度の設定を行う。
2	TICSのトグルスイッチを「ON」にする。
3	予熱パターンを選択しパターン選択PBを「ON」にする。
4	スタート用PBを「ON」にする。
5	3の操作により⑩点灯グループCS（操作用PB）を「ON」にする。

予熱パターン変更

順序	操作又は確認
1	予熱パターン変更に問題のないことを確認する。
2	変更前の予熱パターンのパターン選択PBを「OFF」にする。
3	変更後の予熱パターン選択PBを「ON」にする。
4	2及び3の操作によりグループCS（操作用PB）上の⑩が点灯した操作用PBを「ON」にする。
5	2及び3の操作によりグループCS（操作用PB）上の⑩が消灯した操作用PBを「OFF」にする。

スタート用PB

パターン選択PB

グループCS(操作用PB)

図2.6-4 オペレータコンソール及び温度コントローラ操作方法

2.6.2 2次補助予熱ヒータ設備

(1) 設備概要

2次補助予熱ヒータ設備は、予熱制御指令、温度指示監視及び異常状態を集中的に監視・制御する予熱ヒータ操作盤、配管機器等の温度検出器（熱電対）及び予熱ヒータ供給電源を開閉するための電磁接触器を内蔵した予熱ヒータ接触器盤より構成されている。

予熱温度は各熱電対により検出され、予熱ヒータ操作盤で設定された温度制御範囲内でのON-OFF制御が行われる。制御範囲を逸脱し警報点に達した場合は、温度高・低の警報が発せられる。

(2) 装置構成

2次補助予熱ヒータ設備の温度制御は、設定温度を任意に定められるように分けられたブロック単位毎のゾーン制御により行われる。各ブロック単位は被加熱体の温度計測装置とヒータ回路の電磁接触器をON-OFF制御する制御回路から構成され、制御信号は温度信号を受けるスキャニングコントローラにより与えられる。

スキャニングコントローラには警報回路が設けられ必要な警報設定により温度警報が得られる。温度計測点の温度は選択スイッチの操作により表示される。

図2.6-5に予熱温度制御ブロック図を示す。

2.6.3 2次予熱ヒータ設備

2次予熱ヒータ制御系は、昭和62年に行った経年劣化による更新の機会に、それまで2次補助系設備と同じであつた制御方法及び機能を、マイコンを利用した新制御方式とした。制御方式には、従来のゾーン制御方式に加え、ポイント制御方式が設けられた。

(1) 設備概要

2次予熱ヒータ設備は、予熱制御指令、温度指示監視及び異常状態を集中的に監視・制御する予熱ヒータ制御盤、配管機器等の温度検出器（熱電対）及び予熱ヒータ供給電源を開閉するための電磁接触器を内蔵した予熱ヒータ接触器盤より構成されている。

予熱温度は各熱電対により検出され、予熱ヒータ制御盤で設定された温度制御範囲内のON-OFF制御が行われる。

制御範囲を逸脱し警報点に達した場合は、温度高・低の警報が発せられる。図2.6-6は2次主冷却系の予熱ヒータ制御の概略図を示したものである。

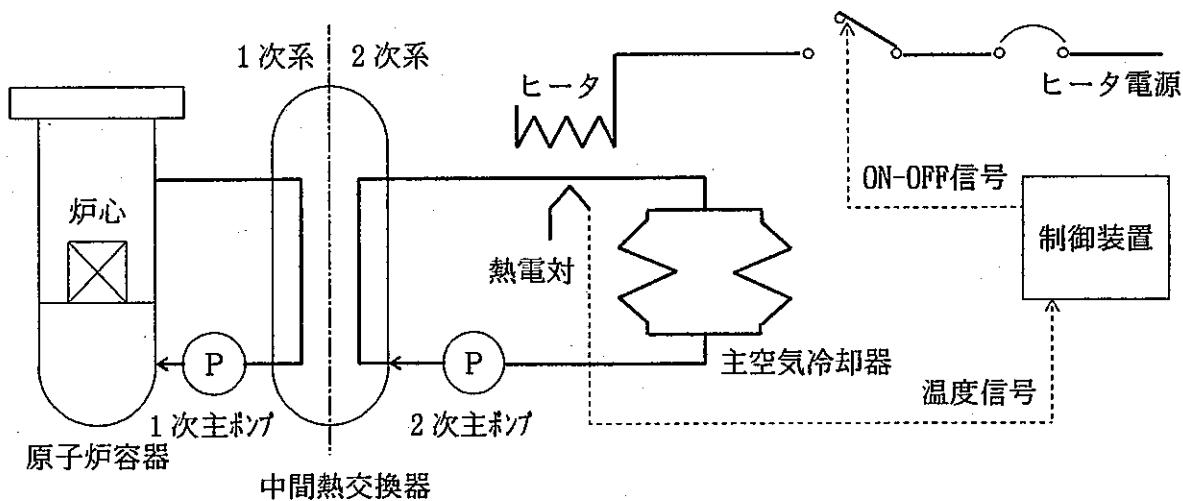


図 2.6-6 2次主冷却予熱ヒータ制御概略図

(2) 装置構成・機能

2次予熱ヒータ設備の基本的な装置構成は、制御回路に計算機（C P U）を導入した以外は2次補助予熱ヒータ設備と同様である。表2.6-2に新旧の制御装置機能比較一覧表を、図2.6-6、図2.6-7に新旧の予熱制御装置制御回路を示す。

表2.6-2 新旧制御装置機能比較一覧表

	新 制 御 装 置	旧 制 御 装 置
制 御 方 式	ゾーン制御、ポイント制御	ゾーン制御
プラント状態に伴う制御温度変更方法 (例 200→250°C)	C P Uに記憶された、6モード×2制御方式=12パターンの中からC R Tにより選択する	ダイヤル式設定器により変更
制御温度設定範囲	0～600°C (上下限共に)	120～400°C (上下限共に)
警報温度設定範囲	0～600°C (")	50～600°C (")
測定温度検出範囲	0～600°C	0～600°C
設定温度入力方法	各アドレス毎にボードにより入力	全アドレスを22のブロックに分割し、ブロック毎にダイヤル式設定器により入力
スキャニング周期	0～10秒 (1秒単位に可変)	1秒／1点または3秒／1点
トグルSWによる手動制御機能	有り	有り
制御回路体系	独立2回路を有し、常時1回路は待機し異常時に自動的に切替る	制御回路は1回路のみ

(3) 予熱制御方式

① ゾーン制御方式

各アドレス毎に任意に定められた温度制御上限設定値と温度制御下限設定値との範囲内に入るように、ヒータをON-OFF制御するもので、制御装置改造前と同じ制御方式であるが、制御回路に計算機（C P U）が導入されたため、より正確な温度制御、温度監視が可能になった。

図2.6-9にゾーン制御概要図を、図2.6-10にゾーン制御フローチャートを示す。

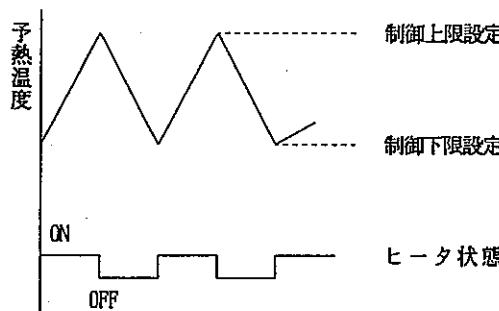


図2.6-9 ゾーン制御概要

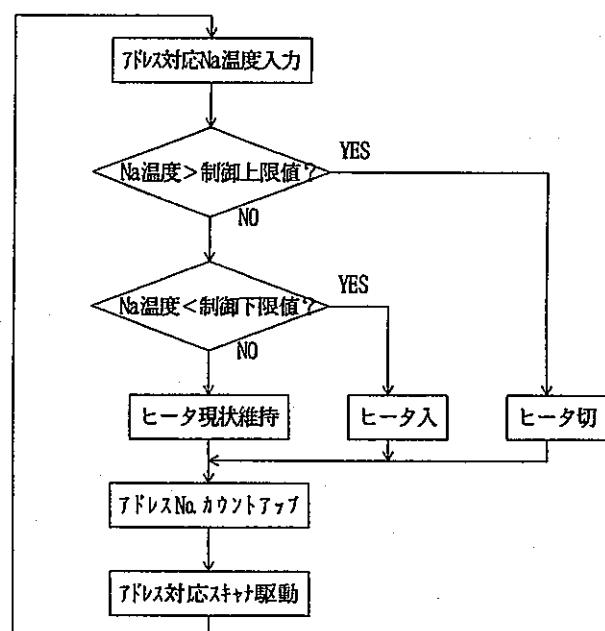


図2.6-10 ゾーン制御フローチャート

② ポイント制御方式

2次主冷却系の主空気冷却器（以下、D H Xと記す）入口Na温度を代表温度とし、制御温度設定値と、その代表温度との比較により、ブロック毎にあらかじめ設定されたヒータ優先順位に従って、自動的にヒータを1台ずつ順次、ONまたはOFFとする制御をポイント制御方式という。

ヒータの制御範囲は、2次主冷却系Aループ（アドレス：SC・I-001～075）及び2次主冷却系Bループ（アドレス：SC II-001～071）で、それぞれを1ブロック単位で制御している。

図2.6-11にポイント制御概要図を、図2.6-12にポイント制御フローチャートを示す。

制御方式をゾーン制御方式からポイント制御方式に切替えた場合の各アドレスの制御温度設定値の一例を表2.6-3に示す。

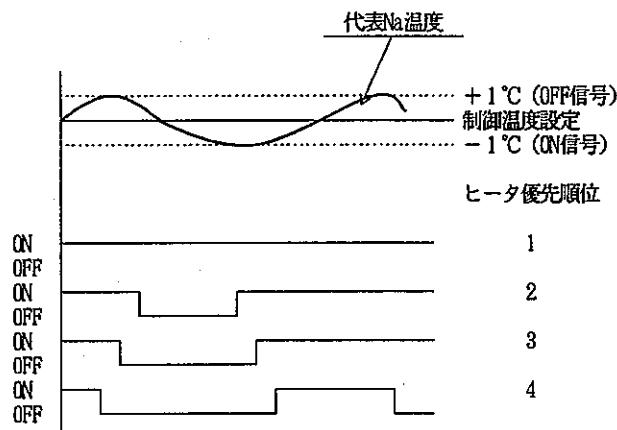


図2.6-11 ポイント制御概要

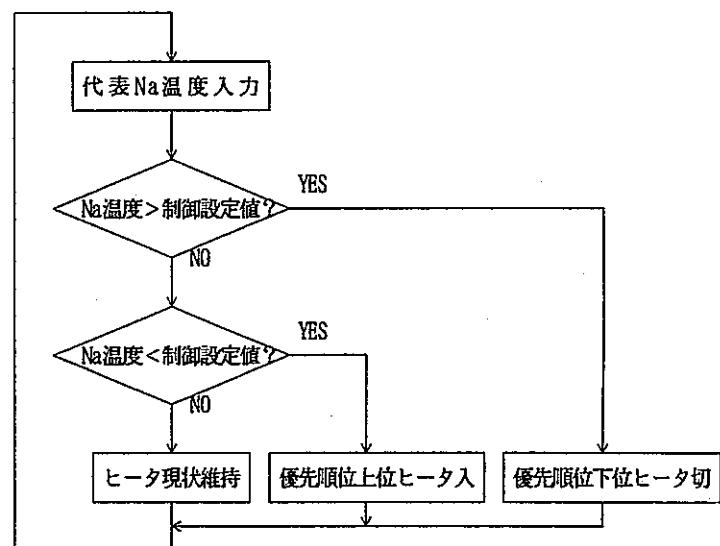


図2.6-12 ポイント制御フローチャート

表2.6-3 ゾーン制御→ポイント制御 制御温度設定値例

アドレスNo.	制御温度設定値
SC・I-001～075	200±10°C
〃 -079～080	200±20°C
〃 -083～101	"
〃 -102～129	"
〃 -132～136	"
〃 -139～150	"
SC・II-001～071	200±10°C
〃 -075～076	200±20°C
〃 -079～096	"
〃 -097～101	"
〃 -104～152	"
〃 -155～157	140±10°C
〃 -160～160	200±20°C

※ポイント制御選択中もゾーン制御のまま。

アドレスNo.	制御温度設定値
SC・I-001～075	優先順位による 199°C一定制御 + 200±10°C
〃 -079～080	200±20°C
〃 -083～101	"
〃 -102～129	"
〃 -132～136	"
〃 -139～150	"
SC・II-001～071	優先順位による 199°C一定制御 + 200±10°C
〃 -075～076	200±20°C
〃 -079～096	"
〃 -097～101	"
〃 -104～152	"
〃 -155～157	140±10°C
〃 -160～160	200±20°C

※

※

※ ポイント制御選択中の制御状態

ポイント制御は、A系及びB系DHX入口Na温度(TE31.2-1A、1B)を一定にする事を目的として、ポイント制御設定温度に入口Na温度が一致するまで、あらかじめ設定されているヒータ優先順位に従ってヒータをONまたはOFFする制御を行なうものである。しかし、ポイント制御にはヒータ各々の温度制御を行なう機能が無いため、ヒータ優先順位の上位ヒータは、ヒータ温度が高くなり過ぎてもON状態を継続し、逆に、ヒータ優先順位の下位ヒータは、ヒータ温度が低くなり過ぎてもOFF状態を継続してしまう。そこで、ポイント制御選択中もゾーン制御を併用させ、ヒータ各々の温度制御はゾーン制御によって行なっている。

従って、ポイント制御で制御されるヒータは、ゾーン制御の制御温度範囲内に入っているヒータで行なうことになる。図2.6-13で見るとSC・I-059やSC・I-030の様にゾーン制御の制御温度範囲外のヒータは、ポイント制御ヒータ優先順位に関係なくゾーン制御においてON-OFF制御されている。

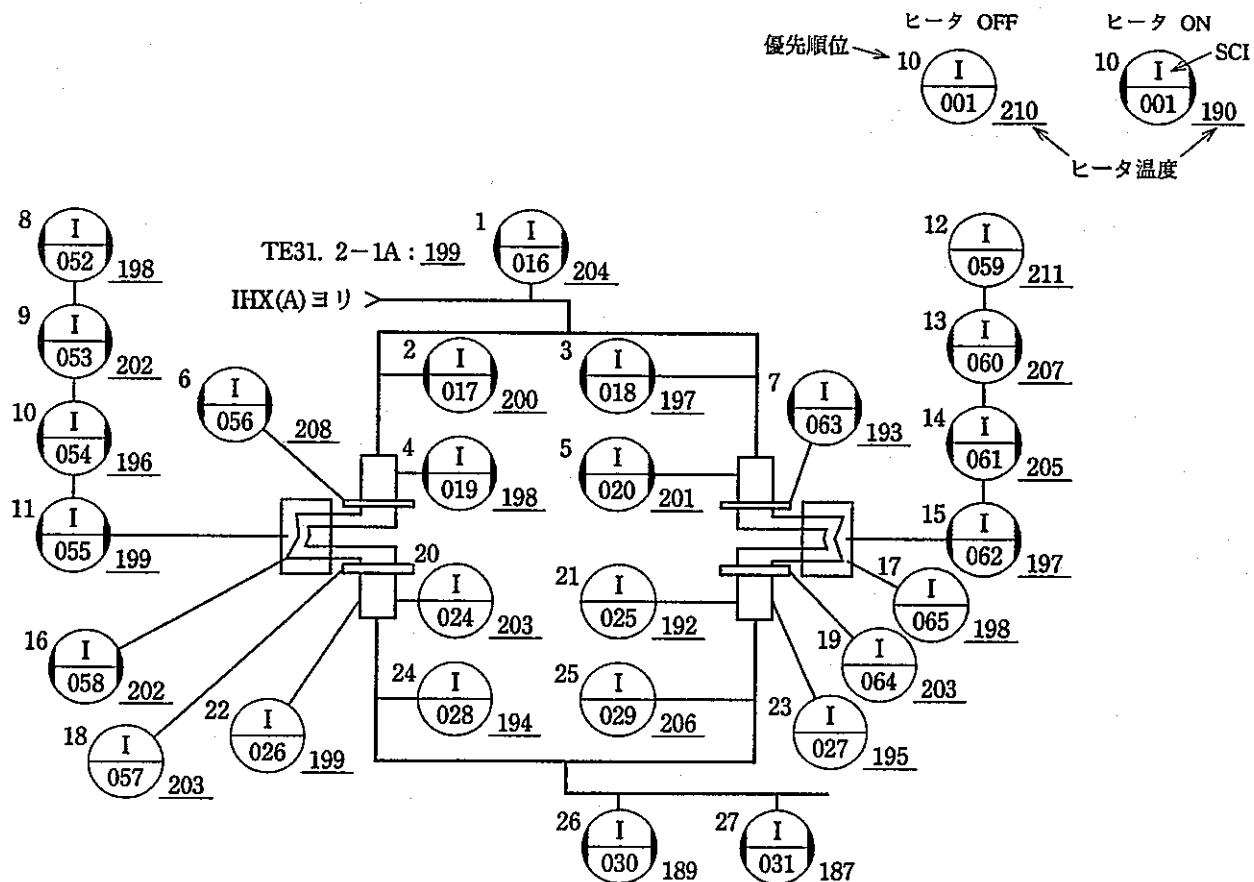


図2.6-13 A系DHXまわりポイント制御状態

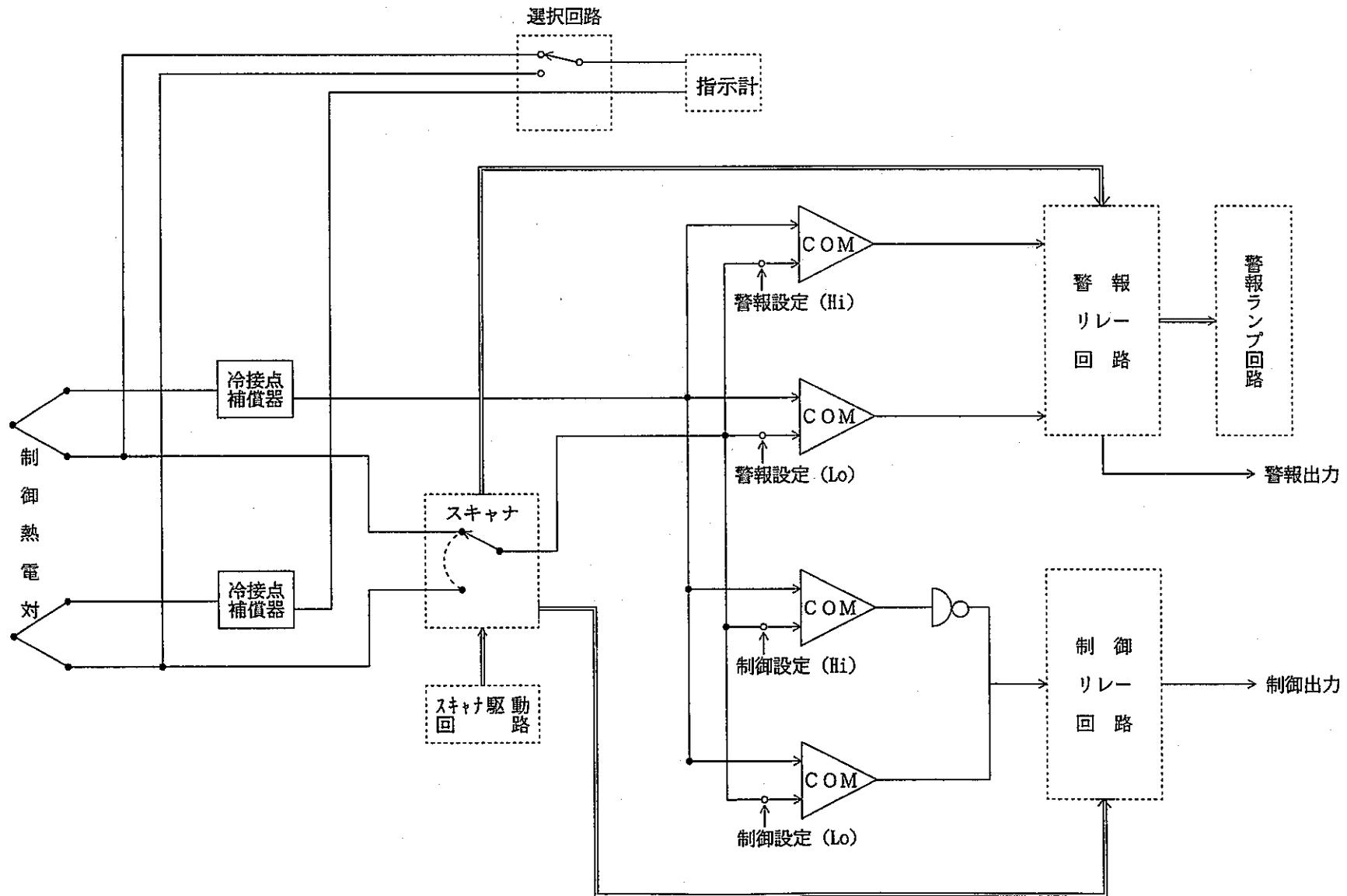


図 2.6-5 2次補助予熱温度制御ブロック図

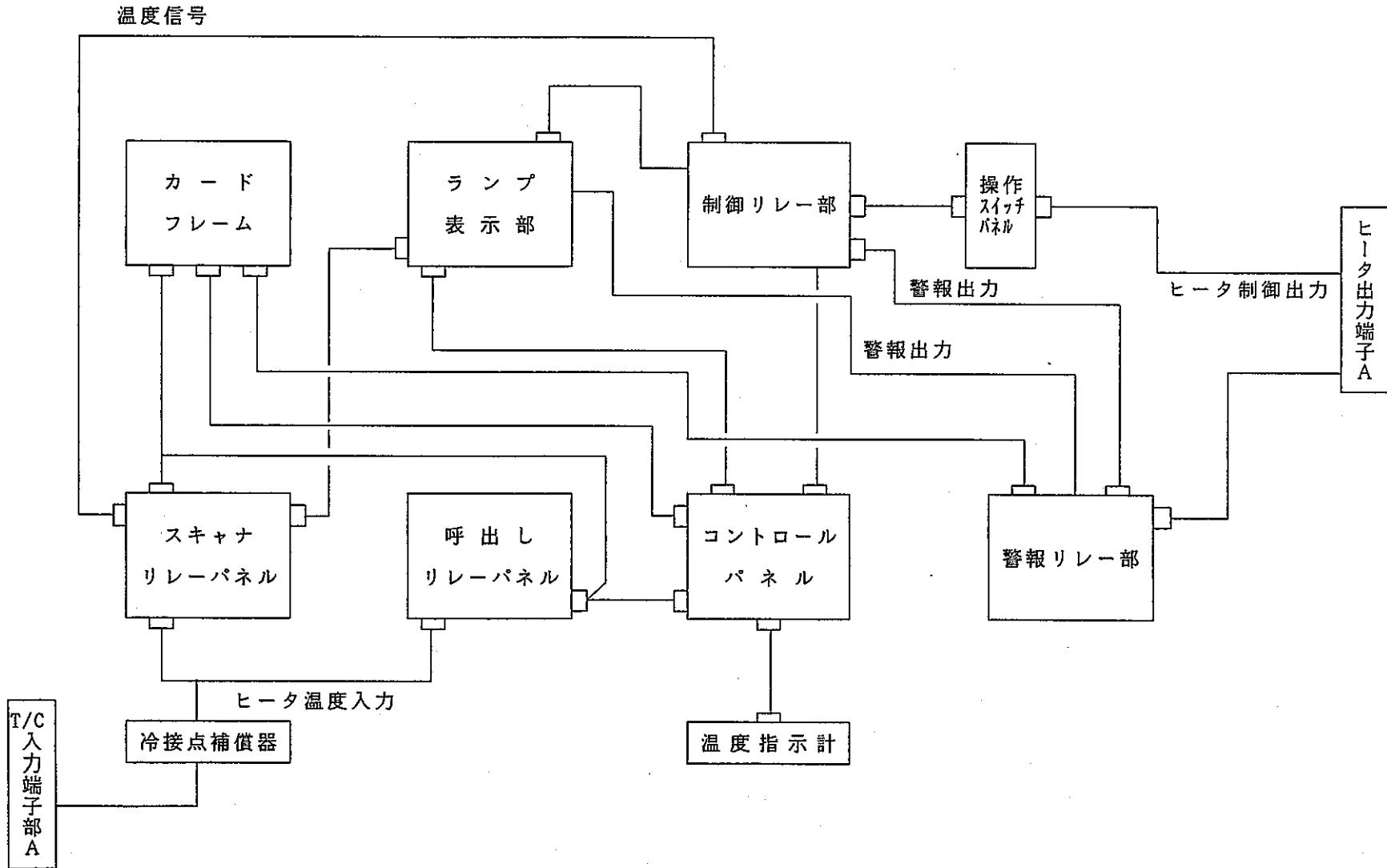


図 2.6-7 旧予熱制御装置 制御回路図 (A系のみ)

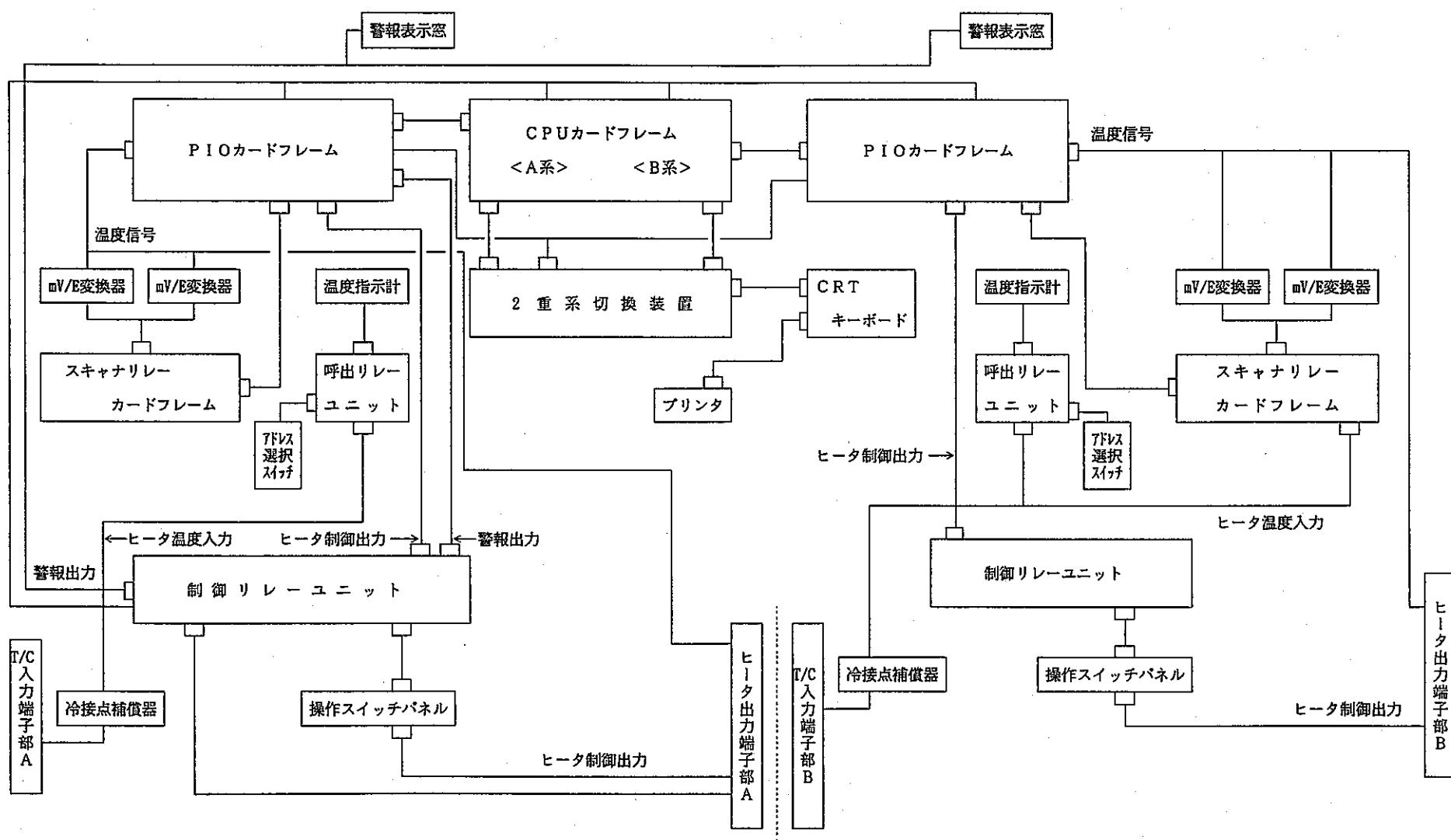


図 2.6-8 新予熱制御装置 制御回路

2.7 電源設備

予熱電気ヒータの電源設備は、電気ヒータ回路を開閉する電磁接触器等を内蔵する予熱ヒータ接触器盤である。1次予熱ヒータ、2次予熱ヒータ、2次補助予熱ヒータは、設備の短絡・地絡事故等が工学的安全施設等に影響を与えないように各々以下のとおり、専用の電源系統により各ヒータへの給電を行っている。

図2.7-1及び図2.7-2にそれぞれ1次系、2次系予熱ヒータ設備の電源系統図を示す。

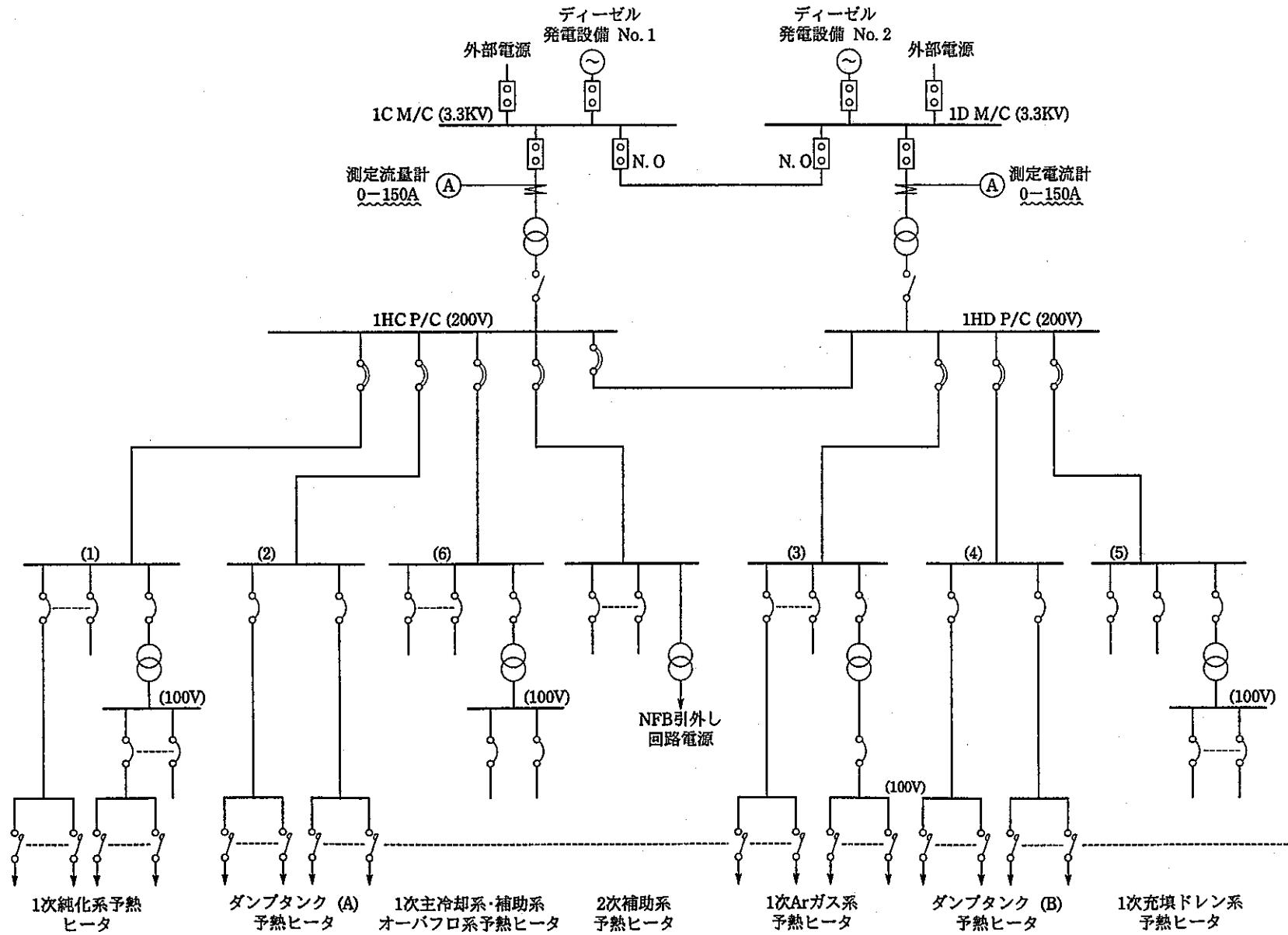


図 2.7-1 1次系予熱電気ヒータ設備 電源系統図

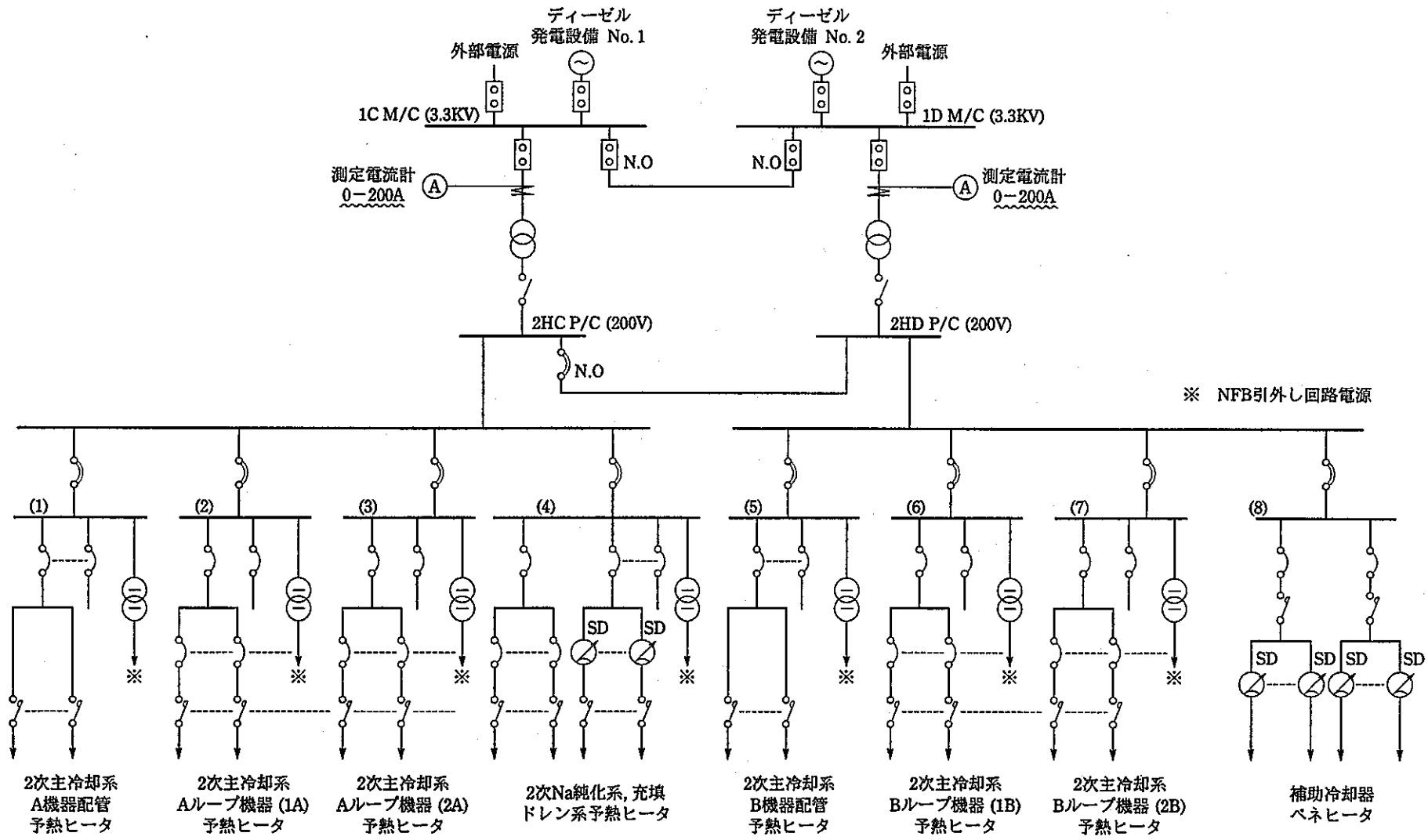


図 2.7-2 2次系予熱電気ヒータ設備 電源系統図

3. 予熱電気ヒータの運転履歴

「常陽」の1次・2次予熱ヒータは、運転開始から現在まで設備的に大きな問題もなく、順調な運転を継続してきた。

ここでは、これまでの運転経験の概略を記述するとともに、設備の老朽化に伴う更新や故障修理等の経験をまとめた。

尚、この間に行った特殊な運転手法を用いての運用に関しては、”5. 予熱ヒータの特殊な運用”に記載した。

3.1 運転履歴

「常陽」の1次・2次予熱ヒータは設置から現在まで多くの運転経験を得た。その結果は、運転操作手順書などに反映させることにより、安全・安定運転に寄与している。

表3.1-1(1/3)～(3/3)に設置から現在までの設備の運用方法、試験結果などを記載した30件の原子炉1課メモの要旨をまとめて示す。

以下に各系統毎の運転履歴を示す。

(1) 1次予熱ヒータ

1次予熱ヒータ設備は総合機能試験以降18年間にわたり、設備の大きな改造もなく順調な運転を継続している。

本期間ににおける制御面での不具合は生じていないが、原子炉運転に伴い配管熱衝撃の発生が明らかとなったオーバフロー系のヒータ補強など、ヒータの追加設置や運転手法の見直しなどが実施されている。

(2) 2次予熱ヒータ

2次予熱ヒータ設備は総合機能試験以降10年が経過した昭和62年に、故障頻度の増加した制御系を更新した。

また、湿分や塩害など設置環境が1次系に比べて劣ることもあり、ヒータシース材の絶縁低下などによる交換を実施している。

設備の運転履歴としては、2次予熱ヒータ制御系の更新に伴い、懸念される接触器の動作回数増加による故障頻度への影響を確認するため、図3.1-1及び図3.1-2に更新から平成4年12月末までの運転経過をまとめた。

平成4年12月末までのポイント制御における積算運転時間は、約2500時間となった。

故障の頻度は旧制御系に比して低下傾向にあり、安定した運転を継続していることがいえる。尚、ポイント制御運転時間が比較的少ないので、運用開始時点において、接触器の故障頻度の増加が懸念されたため、通常の運転においては従来のゾーン制御を採用し、ポイント制御は厳しい温度条件が要求される試験条件設定時などに使用してきたことによるものである。

(3) 2次補助予熱ヒータ

2次補助予熱ヒータ設備は総合試験以降18年間にわたり、設備の大きな変更はなく運転を継続している。しかし、最近は2次主系統と同様、湿分や塩害の影響により制御系の故障頻度が増加しており、制御設備の更新が計画されている。

表3.1-1 予熱ヒータ関係原子炉1課メモ一覧（1／3）

メモ番号	発行年月日	項目	概要
52-1061	S52. 12. 23	2HC, 2HD 負荷制限時系統 温度状態	2次系ヒータの負荷制限時における1次・2次系の系統温度状態を調査した。
52-3133	S52. 11. 17	予熱ヒータ電源喪失試験 要領	電源設備点検において、C系統ヒータの停電が予定されているため、その許容停電時間の確認のためにC系ヒータの停電試験を行う。
52-3134	S52. 11. 21	予熱ヒータ電源喪失試験 結果について 本報告書 4.2.2 参照	C系統ヒータを4時間停電させ配管の温度降下を確認した。
54-2083	S54. 12. 25	予熱ヒータ使用状況について	1次・2次系電気ヒータの投入状態から、その消費電力と稼働率を調査した。
56-2132	S56. 7. 24	「常陽」予熱電気ヒータ 運転特性について 本報告書 4.2.3 参照	ヒータ消費電力が季節によって大きく変化する理由を解明するため、独立した閉ループを作りやすい2次補助系で調査・検討した。
56-7434	S56. 8. 21	予熱ヒータ停止時の温度 降下経験 本報告書 4.2.2 参照	予熱電源停止時における系統降温データを採取した。その結果、ヒータ停止状態での点検は3時間程度が限度。圧力計廻り温度に注意を要することが確認された。
57-3221	S57. 10. 21	2次系ドレン後の予熱ヒータの取扱い要領	2次系Na ドレンマニュアルにドレン後の予熱ヒータの状態表を添付した。
58-2169	S59. 2. 23	2次予熱ヒータ電源喪失 時の2次D/Tナトリウム 温度降下経験 本報告書 4.2.2 参照	2次系Na ドレン中において2次予熱ヒータを12時間程度停止させた。その時の2次D/Tの温度降下は1~2°C/Hr程度であった。
59-2177	S59. 4. 17	予熱ヒータフローシート 訂正	予熱ヒータのフローシートを見直したところ、1次冷却系Arガスラインに誤りがあった。
61-3265	S61. 7. 3	2次主及び補助予熱ヒータ引込ユニットの識別についての提案	電喪時の予熱ヒータ引込ユニットの復旧を確実なものとするため、蛍光テープで通し番号を貼付しCS廻りに識別テープを取付けた。
61-3276	S62. 1. 22	1次予熱ヒータの近接ヒータによる影響	オーバフロー系及び1次純化系の電気ヒータで、接近している他のヒータの温度影響をうけやすいものを探査した。

表3.1-1 予熱ヒータ関係原子炉1課メモ一覧（2／3）

メモ番号	発行年月日	項目	概要
62-1323	S62.9.23	1次系予熱ヒータ制御系コンピュータ化計画検討結果	原子炉2課より検討依頼のあった1次系予熱ヒータ制御系のコンピュータ化計画についての検討結果
62-1341	S62.12.8	1次系予熱ヒータ制御系コンピュータ化計画検討結果	1次系予熱ヒータ制御系のコンピュータ化計画についての検討結果その2
62-3284	S62.4.7	2次予熱ヒータ制御装置運転操作マニュアルの作成	2次予熱ヒータ制御装置更新を終了たため、運転操作マニュアルの作成を行った。
62-3285	S62.4.17	2次予熱ヒータ制御装置に関する改善希望の調査依頼	2次予熱ヒータ制御装置更新を終了たため、各運転グループに装置の機能ならびに、操作上の問題点の抽出を依頼した。
62-3291	S62.5.26	2次予熱ヒータ制御装置に関する改善希望の調査報告 本報告書 3.2.2 参照	各運転グループから提出された要望件数は、9件で設備の大幅な改善を求めるものはなかった。
62-3296	S62.9.11	2次予熱ヒータ制御装置運転操作マニュアルの一部追加	2次予熱ヒータ制御装置更新に伴い作成した運転操作マニュアルの一部を訂正した。
62-3297	S62.10.14	2次予熱ヒータ制御系上限温度警報設定値変更	2次予熱ヒータ制御装置更新に伴い、原子炉運転中の2次系ホットレグ配管の温度監視が可能となつたため、警報設定値を変更した。
62-3299	S62.11.24	2次予熱ヒータ制御系各種モード名称の変更	2次予熱ヒータ運転モードの名称及び制御設定内容の変更を実施する連絡書
62-3306	S63.2.23	2次予熱ヒータ制御系運転モード名称変更及びモード追加	2次予熱ヒータ運転モードの名称及び制御設定内容の変更を実施した。
63-3317	S63.6.15	2次予熱ヒータ制御系制御方式別運転データ採取依頼	2次予熱ヒータ制御系制御方式別の運転データ採取を各運転グループに依頼した。
63-3322	S63.6.22	2次予熱ヒータ制御系ポイント制御について	ポイント制御について各運転グループへ説明する資料として作成した。

表3.1-1 予熱ヒータ関係原子炉1課メモ一覧(3/3)

メモ番号	発行年月日	項目	概要
63-3324 63-3328	S63.7.1 S63.7.14	2次主循環ポンプ低流量運転による省エネ効果の確認データ採取(連絡及び予測)	2次主循環ポンプを低流量で運転することにより、プラント全体での電力使用量低減につながるか否かについて調査する。
63-3330	S63.7.15	2次主循環ポンプ低流量運転による省エネ効果の確認結果 本報告書 4.2.3 参照	2次主循環ポンプ低流量運転により増加したヒータの電力消費量が大きく30.3Kwの増加となり、省エネ効果は期待できないことが確認された。
63-3342	S63.9.10	2次予熱ヒータ制御系制御方式別運転状態比較結果 本報告書 3.2.2 参照	2次予熱ヒータ制御装置改造から現在までの運転状態を、ゾーンとポイント制御について比較検討した。
63-3347	S63.11.9	2次予熱ヒータ制御装置操作マニュアルの一部変更	制御定数変更に要する時間短縮のためにプログラム変更を実施した。そのため、操作マニュアルの一部を変更した。
63-3354	S63.12.22	2次予熱ヒータスライダック設定値の調査	2次予熱ヒータスライダックの設定値が、OMS、SMDに記載されている値と相違していることが判明したので、調査を実施した。
1-1420	H1.12.21	1次系Na充填に伴うO/F電磁ポンプ起動のための予熱ヒータ設定変更 本報告書 5.1 参照	1次系Na充填に伴いオーバフロー電磁ポンプ起動条件成立のためにとった、配管部の予熱設定手法をまとめた。
3-3454	H3.4.24	2次系予熱ヒータ機能試験結果(常陽ーもんじゅ技術交換会資料)	常陽ーもんじゅ技術交換会用資料として、総合機能試験時の2次予熱ヒータの試験結果をまとめた。
3-3461	H3.7.24	2次主ポンプ停止に伴う主冷却器出口Na温度の挙動について	電源盤点検において2次主循環ポンプを停止した際に経験した主冷却器出口Na温度の挙動を考察した。

年 項目	昭和62年 (1985)		昭和63年 (1986)		平成1年 (1989)	
	1月～6月	7月～12月	1月～6月	7月～12月	1月～6月	7月～12月
	第6回定期検	100MW 第13, 第14,	第15サイクル 佐能試験 第16サイクル 第7回定期検	100MW 第17	第18, 第19, 第20	
常陽 主要工程	2次予熱・制御盤更新 2次予熱ヒータ交換 1次・2次系Naドレン 電源盤定検 4/23瞬停発生	格納容器気密試験 2次予熱ヒータ無停電系接続 7/31, 8/6, 8/15, 10/15瞬停発生 8/14電費, 9/7スクラム発生	2次系ヒートコントローラー点検 4/23瞬停発生 2次系省エネ効果確認試験 炉容器Naドレン中 2/2外部電源喪失発生	2次系ヒートコントローラー点検 4/23瞬停発生 2次系省エネ効果確認試験 炉容器Naドレン中 2/19地震による瞬停発生	原子炉運転総計4万時間到達 12/28 15:00	
原子炉 運転工程						
運転 実績	1次系 制御パターン	原子炉通常運転、FFD Naドレン		原子炉通常運転、FFD Naドレン		
	2次系 制御モード	2次新制御装置運用開始 予備	燃料交換 出力運転 燃料交換 高温待機 温態待機 Na充填ドレン 予備	出力運転 高温待機 温態待機 温態待機	高温待機 温態待機 温態待機	
	2次系 制御方式	2次新制御装置運用開始 ゾーン	7/5 16:23 →7/21 9:00 7/22 9:45 →7/27 9:18 ゾーン	2/23 9:18 →5/26 17:00 5/14 17:07 →5/15 5:23 5/15 9:32 →5/16 11:40 ポイント 7/27 14:58 →8/1 7:55 ヒータ切 ゾーン	1/4 15:26 →1/5 22:47 4/1 6:04 →4/1 6:44 5/4 9:19 →5/6 13:55 5/8 19:38 →5/8 21:51 5/9 17:27 →5/9 19:29 ゾーン	7/18 9:09 →7/19 16:46 10:28 4:32 →11:37 7/19 16:46 8/15 9:25 →8/15 20:57 11/21 5:00 →11/22 17:34 ポイント 10:28 4:32 →11:37 8/15 9:25 →8/15 20:57 11/21 5:00 →11/22 17:34
	ポイント制御 運転時間(分)		446時間10分 積算時間 446時間10分	465時間34分 積算時間 911時間44分	88時間58分 積算時間 1000時間42分	334時間00分 積算時間 1334時間42分
2次ヒータ 修理依頼書	3/23 SCI-117指示不良 5/16 SCI-1117地絡 5/31 SCI-1118地絡 6/19 SCI-53温度制御用熱電対断線	7/14 SCI-54温度制御用熱電対断線 7/23 SCI-53制御異常 10/28 SCI-87温度指示低下 11/28 2次制御装置異常 12/1 SCI-59温度指示不良	1/7 SCI-II-87温度指示低 下 1/30 2次制御装置異常 6/19 SCI-II-63温度指示不良	8/30 SCI-96温度低発生 11/11 SCI-62制御不良 12/17 SCI-109温度指示不良	1/20 2次予熱ヒータ制御装置の不具合 8/16 2次温度制御系(IA)調査依頼	

図3.1-1 2次予熱ヒータ更新後の運転履歴

年 項目	平成2年 (1990)		平成3年 (1991)		平成4年 (1992)	
	1月～6月	7月～12月	1月～6月	7月～12月	1月～6月	7月～12月
常陽 主要工程	第20, 20' サイクル 2次系ヒータコントロールセンタ点検 2次系ヒータライナ、引込NFB交換 1次系接触器交換 2次予熱ヒータ交換 1次・2次系Naドレン 電源盤定検	1COMW 第8回定検 2次系主ポンプ流量増加試験 (~1360 m³/h) 格納容器全体漏洩率検査 2次主・補助制御装置点検 1次系Naドレン、元塗 8/1段停業 7/19	第21サイクル 第22サイクル 第23, 23' サイクル INTA-2試験 電源盤定検 高圧配電盤等体更新工事 2次系ヒータコントロールセンタ点検 2次予熱ヒータ交換 1次系Naドレン	23" 23' サイクル 2次主・補助制御装置点検 電源盤更新工事 2次系ヒータ熱電対点検 2次系Naドレン	第9回定検 INTA-2試験 電源盤定検 2次系ヒータ熱電対点検 2次系Naドレン	第24, 24' サイクル 25' 26サイクル 1次系Naドレン 12/8電源変更
原子炉 運転工程						
運転 実績	1次系 制御パターン 2次系 制御モード 2次系 制御方式 ポイント制御 運転時間 (分) 2次ヒータ 修理依頼書	冷却系Naドレン 高温待機 3/2ヒータ切 3/2ヒータ切 3/2ヒータ切 3/2ヒータ切 3/9時間31分 積算時間1465時間11分 3/24 SC II-127電磁接触器 コンタクタの接触不良	原子炉通常運転 出力運転 温態待機 温態待機 Na充填ドレン 制御 ゾーン制御 5/21 62時間04分 1527時間15分 8/19 2次予熱ヒータ制御装置故障 11/17 23:10 12/21 23:07 ~11/18 19:57 ~12/22 23:00 3/12 7:03 4/6 5:08 ~3/13 9:00 ~29:28 5/1 14:53 ~10:58 9/2 7:08 ~29:57 3/4 7:08 ~11:57 5/1 3:52 ~12:14 6/29 7:08 ~7/5 19:58 9/3 1:08 ~4:08 1/38 16:56 ~2/19 16:54 3/13 17:05 ~3/19 17:10 5/3 7:04 ~11:47 2/23 接触器SC II-28異常 異常 2/23 接触器SC II-28異常 異常 6/16 2次予熱ヒータ制御装置調査依頼 12/6 SC II-125温度指示調査依頼	冷却系 Naドレン Naドレン Na充填ドレン 温態待機 予備 11/24 1/21 入 予備 出力運転 温態待機 3/12 7:03 4/6 5:08 ~3/13 9:00 ~29:28 5/1 14:53 ~10:58 9/2 7:08 ~29:57 3/4 7:08 ~11:57 5/1 3:52 ~12:14 6/29 7:08 ~7/5 19:58 9/3 1:08 ~4:08 1/38 16:56 ~2/19 16:54 3/13 17:05 ~3/19 17:10 5/3 7:04 ~11:47 2/23 接触器SC II-28異常 異常 2/23 接触器SC II-28異常 異常 6/16 2次予熱ヒータ制御装置調査依頼 12/6 SC II-125温度指示調査依頼	原子炉通常運転 Naドレン Naドレン Na充填ドレン ヒータ切 入 予備 出力運転 温態待機 3/12 7:03 4/6 5:08 ~3/13 9:00 ~29:28 5/1 14:53 ~10:58 9/2 7:08 ~29:57 3/4 7:08 ~11:57 5/1 3:52 ~12:14 6/29 7:08 ~7/5 19:58 9/3 1:08 ~4:08 1/38 16:56 ~2/19 16:54 3/13 17:05 ~3/19 17:10 5/3 7:04 ~11:47 2/23 接触器SC II-28異常 異常 2/23 接触器SC II-28異常 異常 6/16 2次予熱ヒータ制御装置調査依頼 12/6 SC II-125温度指示調査依頼	

図3.1-2 2次予熱ヒータ更新後の運転履歴

3.2 補修・改造・更新履歴

予熱ヒータの補修に関しては、運転担当から原子炉第2課に依頼して実施されるものと、原子炉第2課の定期点検などにより発見し措置されるものとに大別される。

本補修履歴に記載した異常の措置は、運転担当から依頼された補修実績を示すものである。また、改造・更新に関しては、主に原子炉第2課が予防保全の観点から計画的に実施しているものである。

3.2.1 設備補修履歴

予熱ヒータ及び関連設備の異常は、調査した昭和56年4月から平成5年3月末日における12年間に、1次主冷却系統、2次主冷却系統、2次補助系統及び電源系統でそれぞれ23件、70件、33件、2件の合計128件発生している。

これら異常の内のほとんどは原因となった部品・機器の補修或いは交換により正常に復帰されている。また、自然復旧により再現性がなかった24件についても点検の強化が成され、原因として可能性のある機器・部品の補修が実施されている。

全系統を通して最も多い異常原因は、温度制御基板或いは制御リレーの故障に係わるもので、特に湿度、ほこりなどの影響が大きい2次補助系統にあっては、2次補助系統補修件数全体の70%を占めている。

図3.2-1は各系統毎の補修状況を異常要因別、年度別で区分けして示したものである。

以下に各系統毎の補修履歴をまとめて示す。

(1) 1次主冷却系統

1次主冷却系統は、12年間に23件の異常が発生した。

故障件数としては2次主及び補助系統に比べ少ない結果となったが、原因としてはヒータ制御方法の違いと、制御装置、ヒータ取付け部の設置環境の差によるものと考えられる。

故障原因が基板或いは制御リレーであった場合の1次主冷却系統の補修件数全体に占める割合は、約35%（8件）であった。

(2) 2次主冷却系統

2次主冷却系統は、12年間に70件の異常が発生した。

故障内容としては、制御基板の異常や端子などの接触不良による指示不良などが多く、2次主冷却系統の補修件数全体の約35%（24件）に該当する。

原因としては、空気中の湿分、ほこり、塩分などが影響しているものと考えられ制御

系の更新や、改良型（吸湿による絶縁低下防止対策）主冷却器内装ヒータへの交換などの改良・更新が行われてきている。

(3) 2次補助冷却系統

2次補助冷却系統は、12年間に33件の異常が発生した。

制御方法が2次主冷却系統と同等であるため、故障内容としては2次主冷却系統の場合と類似しているが、制御装置の設置環境に関しては、2次主冷却系統よりも劣ることから、温度制御基板或いは制御リレーの故障による異常が際立って多い。

制御基板の異常や端子などの接触不良が原因による異常は2次補助冷却系統全体の60%（20件）に該当する。

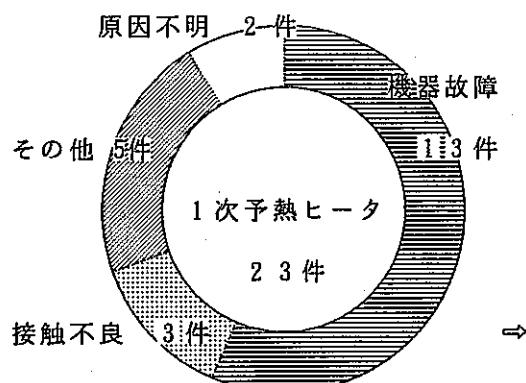
本期間に実施された設備補修の詳細は以下の表にまとめて示す。

表3.2-1 (1/3)～(3/3) に1次予熱ヒータ設備の補修状況を示す。

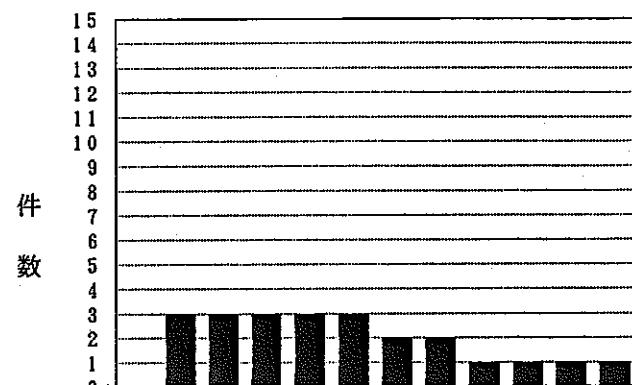
表3.2-2 (1/6)～(6/6) に2次予熱ヒータ設備の補修状況を示す。

表3.2-3 (1/3)～(3/3) に2次補助予熱ヒータ設備の補修状況を示す。

表3.2-4 に予熱ヒータパワーセンタの補修状況を示す。

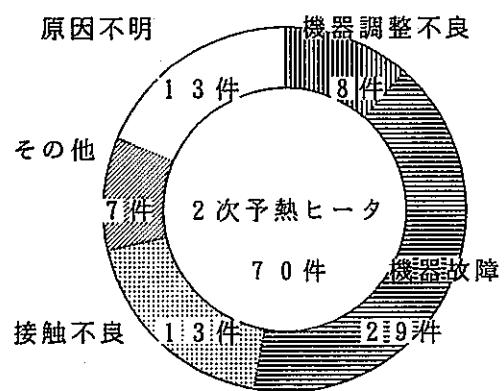


1次予熱ヒータ故障分類

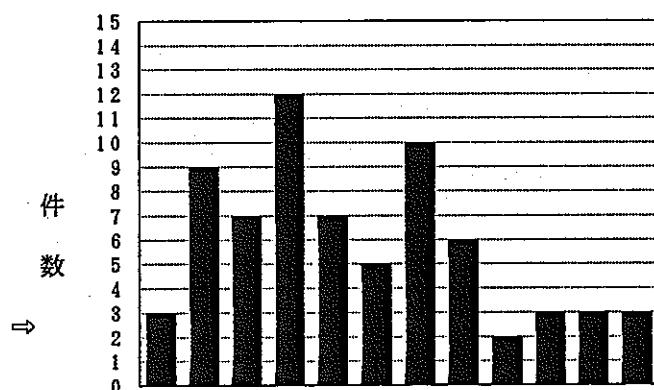


S56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, H1, 2, 3, 4年度

1次予熱ヒータ年度別故障件数

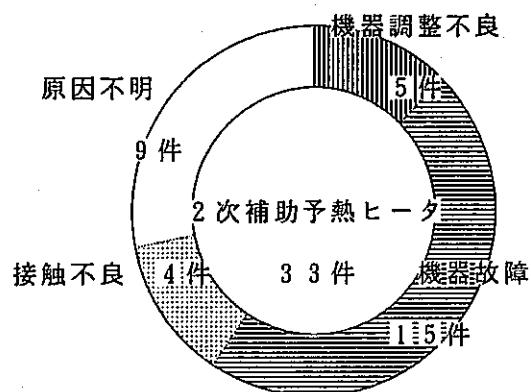


2次予熱ヒータ故障分類

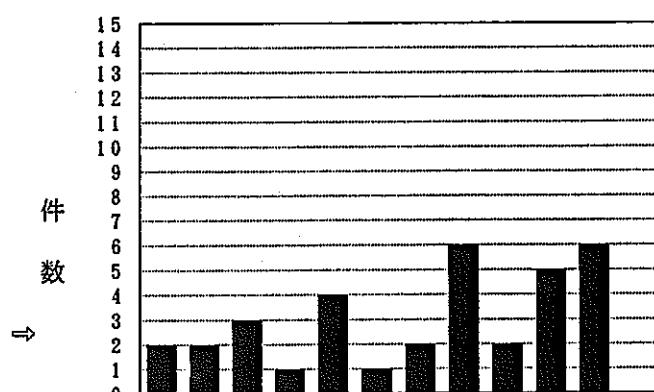


S56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, H1, 2, 3, 4年度

2次予熱ヒータ年度別故障件数



2次補助予熱ヒータ故障分類



S56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, H1, 2, 3, 4年度

2次補助予熱ヒータ年度別故障件数

図 3.2-1 各系統別故障分類と年度別故障状況

表3.2-1 1次予熱ヒータ設備補修状況（1／3）

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処 置
1	S.57.9.14 書類No. 原1-57-131	1次予熱ヒータコントローラ不調	コントローラH35.1-21が温度低ANN 発生にもかかわらずヒータ投入状態とならない。	プリント基板の挿入が不完全であったため再挿入した。
2	S.58.2.4 書類No. 原1-57-235	1次予熱ヒータ警報設定器TS35.1-9A不良	TS35.1-9Aの温度指示値が警報設定温度付近になると、設定器内部でチャタリングが発生する。	TS35.1-9A警報設定器の交換を実施した。
3	S.58.2.24 書類No. 原1-57-255	1次Naサンプリングヒータ温度指示計不良	系統温度380°CでNaサンプリングフラッシング中、サンプリング関係のヒータのなかでH34.1-60の指示値だけが210°Cと低い。	模擬信号で確認の結果、検出器に異常が認められたため、検出器の交換を実施した。
4	S.58.6.20 書類No. 原1-58-85	1次予熱ヒータH33-25接地	P/C及び予熱ヒータ制御盤のANN が発報したため調査したところ、地絡原因でNFBがOFFの接触器盤を発見した。この盤の負荷側ヒータを全数OFFとし順次再投入したところ、H33-25の投入時にNFBがトリップした。	H33-25はオーバフロータンクとJ. BOX-1-18の間でS相が地絡していたため、予備ヒータのH33-25Bとケーブルペネトレーション(PK-2)のアニラス側で結線変更を実施した。
5	S.58.8.1 書類No. 原1-58-123	1次予熱ヒータH34.1-50設定幅不良	H34.1-50の制御設定幅が通常の200±30°Cから大幅にずれており、プラス側が218°C、マイナス側が127°Cとなっている	予備基板と交換し、設定値調整を実施した。
6	S.58.9.9 書類No. 原1-58-152	1次予熱ヒータ温度設定器TS35.1-9A不良	TS35.1-9Aの温度指示値が警報設定温度付近になると、設定器内部でチャタリングする。	TS35.1-9A警報設定器の交換を実施した。
7	S.59.11.1 書類No. 原1-59-3	1次予熱ヒータTICS36.1-45 温度指示不良	予熱ヒータ異常ANN 発生のため確認したところTICS36.1-45の温度指示が380°C～0°Cの間で変動していた。	ケーブルペネトレーションのアニラス側スリーブジョイント接続不良が発見されたため、スリーブジョイントの交換を行った。
8	S.60.1.23 書類No. 原1-59-254	1次予熱ヒータH32.1-1温度制御不調	H32.1-1の温度制御設定が200±20°Cであるにもかかわらず、ヒータは160°C～145°Cの範囲でON-OFFするため温度低(140°C)のANNが頻発している。	再現性がなく、点検の結果からも異常は認められなかった。
9	S.60.1.25 書類No. 原1-59-257	1次予熱ヒータH35.1-11温度制御不調	H35.1-11の温度低警報設定が150°Cであるのに160°CでANNが発生する。	再現性がなく、コントローラ点検においても異常はなかったが、指示計校正を実施した。
10	S.60.10.5 書類No. 原1-60-110	1次予熱ヒータH35.1-4昇温不良	1次予熱ヒータ操作盤故障ANNが発生した。H35.1-4が155°Cしかなく温度低により生じていた。当該ヒータをチェックしたところR相の断線を発見した。	ケーブルペネトレーションにおいて導通確認の結果ヒータ断線が確認されたため、ペネ部で予備ヒータへのつなぎ替えを行った。

表3.2-1 1次予熱ヒータ設備補修状況（2／3）

番号	発生年月日	異常項目	内容	処置
1 1	S. 60.12.25 書類NO. 原1-60-147	1次予熱ヒータ警報盤、警報回路異常	1次Na S/P フラッシング停止によるヒータ「切」操作でTICS H34.1-34, 35, 37, 38の温度低ランプは点灯したものの、一括警報表示の「Na 純化系PLまわり温度低」ANN が発生しない。	一括警報表示（Na 純化系PLまわり温度低）リレー接点の接触不良により生じたもので、リレーの交換を実施した。
1 2	S. 61.1.11 書類NO. 原1-60-157	1次予熱ヒータ盤内冷却ファン異音	1次予熱ヒータ盤内冷却ファンに異音が発生している。	冷却ファン4台中の1台に、モータベアリングの不良が確認された。このため、予防保全の観点から全数冷却ファンの交換を行った。
1 3	S. 61.7.23 書類NO. 原1-61-67	1次予熱ヒータDC 48 V電源NFBトリップ	1次予熱(208-3)盤のDC 48 V電源NFBがトリップした。トリップ後の電圧計の指示値は0Vであったが、電流値が0.75 Aを示していた。	NFBの過不足電圧引き外し装置のロック機構の異常により、微少振動でロックが解除される状況となっていた。NFBを交換して復旧した。
1 4	S. 61.12.13 書類NO. 原1-61-160	1次予熱ヒータH35.1-66コントローラ異常	H35.1-66のコントローラの温度指示灯が温度高点灯中にもかかわらず作動ランプが点灯している。 コントローラSWを一旦「切」とし再投入したところ正常に復帰した。	コントローラの制御基板の差し込み不良により発生していたもので、基板を差し込みし直したところ復旧した。
1 5	S. 62.2.28 書類NO. 原1-61-213	1次予熱ヒータグループ選択SWランプユニット破損	グループ選択SWのランプユニットを引き出す際、ユニットのプラスチック部分が破損した。	ランプユニットのプラスチック部分が、発熱により劣化して破損した。他のランプユニットにも同様の劣化が見られるため、ユニットの交換を実施した。
1 6	S. 62.8.10 書類NO. 原1-62-82	1次予熱ヒータ予熱温度警報表示不良	予熱温度警報表示盤で「1次Arガス系VT-1まわり温度低」ANN が点灯中、該当するコントローラにランプ表示がない。またコントローラに低表示があるにもかかわらず「1次Arガス系VT-3温度低」ANN が表示されていない。	VT-1まわり温度低とVT-3 温度低の警報配線が入れ違いに接続されていたため、配線を入れ替えた。
1 7	S. 63.2.8 書類NO. 原1-62-175	1次予熱ヒータH32.1-1警報設定不良	H32.1-1の温度低警報設定値が150°Cであるのに160°CでANN が発生する。	温度コントローラのスパンがずれていたため調整を試みたが調整不能のため、基板を交換した。
1 8	S. 63.5.15 書類NO. 原1-63-40	1次予熱ヒータ制御盤警報表示不良	警報表示盤の「Na 純化系配管弁-2 温度低」ANN が該当するコントローラに温度低の表示灯が点灯しているにもかかわらずリセットできた。	警報用リレーの接点不良により発生したもので、警報用リレーの交換を実施した。
1 9	H. 1.2.28 書類NO. 原1-63-263	1次予熱ヒータ温度制御(3) DC 48 V電源NFBトリップ	1次予熱ヒータ温度制御(3)盤裏側扉の開閉時のわずかな振動により、DC 48 V電源NFBがトリップした。	NFBの劣化によりSWにガタが発生していた。このため、DC 48 V電源装置を交換した。
2 0	H. 2.3.5 書類NO. 原1-1-213	1次予熱ヒータ調節計H34.1-47調整依頼	TICS H34.1-47が±2°C(通常±10°C)で制御されている。	コントローラの温度制御幅を調整しようとしたが調整できなかったため、基板の交換を行った。

表3.2-1 1次予熱ヒータ設備補修状況（3／3）

番号	発生年月日 書類No. 原1-2-194	異常項目	内 容	処置
21	H.3.1.26 書類No. 原1-2-194	1次予熱ヒータDC48V電源ユニット異常	DC48V電源警報発報ため、全ユニットの確認を行ったが、各ユニットでの異常ランプの点灯はなく、電圧も正常値を示していた。208-6盤のユニットのリセットPBを押した時点で、異常ANNはリセットできた。	DC48V電源ユニットのNFBが劣化し、正常動作しなかったため生じたもので、DC48V電源ユニットを交換した。
22	H.3.9.17 書類No. 原1-3-65	1次予熱ヒータ接触器H33-9R ランプ不点灯	H33-9用接触器のRランプが点灯しない。	表示ランプホルダのコイルの断線のため、ランプホルダを交換した。
23	H.5.2.21 書類No. 原1-4-109	1次予熱ヒータH32.1-4コントローラ調査依頼	H32.1-4コントローラ基板の異常により、制御範囲を越えたにもかかわらずヒータはON状態を継続した。 250°CでANNが発報した。	H32.1-4コントローラ基板を交換した。

表3.2-2 2次予熱ヒータ設備補修状況（1／6）

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処 置
1	S.56.4.5 書類No. 原1-56-4	2次予熱ヒータ制御盤（662）異常	コンパレータの制御系異常と思われる温度低、高のANNが頻発したため、電源をON、OFFしたところ復帰した。	コンパレータのリードリレー接点の劣化により、接触不良が生じていたもので、リードリレー基板を交換した。
2	S.56.11.30 書類No. 原1-56-154	2次予熱ヒータ制御盤（662）異常	コンパレータの制御系異常と思われる温度低、高のANNが頻発した。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯していて不規則な動きをしていた。	コンパレータのリードリレー異常により生じたもので、リードリレー基板を交換した。
3	S.57.1.13 書類No. 原1-56-191	2次予熱ヒータSCⅠ 温度指示計不良	SCⅠ-01,02,03のヒータ設定温度変更をしようとしたが、指示計の指針が195°Cを指したまま変化しない。	温度指示計の指針駆動部分に機械的なひっかかりがあったため、指示計の分解調整を実施した。
4	S.57.5.17 書類No. 原1-57-34	2次予熱ヒータSCⅡ-56 温度指示不良	SCⅡ-56の温度指示値が実際の温度よりも著しく低く、8°Cを示している。	熱電対のコネクターに接触不良があったため、コネクターを交換した。
5	S.57.5.22 書類No. 原1-57-44	2次予熱ヒータ制御盤Aの温度指示計指示不良	予熱制御盤で各ブロック毎のスキャニングがされず、各部分の温度指示もしない。	予熱制御盤内の定電圧装置の故障で電源供給が絶たれたため発生した。定電圧装置を交換した。
6	S.57.9.5 書類No. 原1-57-122	2次予熱ヒータSCⅡ-56 温度指示不良	SCⅡ-56の温度指示値が8°Cを示している。	熱電対のコネクターに接触不良があったため、ケーブルとコネクタ部のはんだ付けを実施した。
7	S.57.9.5 書類No. 原1-57-123	2次予熱ヒータSCⅡ-123警報点不良	SCⅡ-123の温度が制御設定範囲内であるにもかかわらずANNが発生する。	熱電対の入力信号用コネクターに接触不良があったため、コネクター取付けビスの半田付けを実施した。
8	S.57.10.10 書類No. 原1-57-150	2次予熱ヒータ制御盤SCⅡスキャナー不調	スキャニング表示灯が同時に2個不規則に点灯する。	リードリレー基板の誤動作により生じたもので、基板を交換した。
9	S.57.11.10 書類No. 原1-57-167	2次予熱ヒータSCⅡ-10ヒータ遮断器用コンタクタ異音	SCⅡ-10のヒータ遮断器用コンタクタに異音が発生している。	マグネットコンタクタの鉄心面の摩耗によるもので、コンタクタを交換した。
10	S.58.1.22 書類No. 原1-57-222	2次予熱ヒータSCⅡ-01ブロック下限温度設定点不良	SCⅡ-01ブロックの設定値変更後設定値が±50°Cの範囲で変化した。	01ブロックの下限温度設定器の可変抵抗部、ようどう面の接触不良で抵抗値（温度設定値）が不安定となっていたため生じたもので、下限温度設定器を交換した。
11	S.58.2.17 書類No. 原1-57-246	2次予熱ヒータC/C引き込み線（B）NFB投入不可	コントロールセンタ（7）引き込み線BのNFBがON位置に保持できず、トリップ位置となる。	NFBのトリップリセット機構に動作不良があり、リセットしにくくなっていたため、NFBの交換を実施した。
12	S.58.3.29 書類No. 原1-57-289	2次予熱ヒータSCⅠ-96異常	SCⅠ-96のヒータスイッチが「自動」、接触器が「ON」状態にあるにもかかわらず、温度指示値が制御設定（240±20）より大幅に低い120°Cまでしか上昇しない。	再現性がなく、点検の結果も異常は認められなかった。 原因不明で自然復帰した。

表3.2-2 2次予熱ヒータ設備補修状況(2/6)

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処 置
13	S.58.6.28 書類No. 原1-58-99	2次D/T内装ヒータSCI-138(6)接触器接触不良	SCI-138(6) 2次側端子接続部が焼損している。	接触器2次側ケーブルの締付けボルトが緩み、接触抵抗が増加し発熱焼損したもので、接触器及び2次側ケーブルを交換した。
14	S.58.7.22 書類No. 原1-58-117	2次予熱ヒータSCII-112予熱不良	SCII-112のヒータスイッチが「自動」、接触器が「ON」状態にあるにもかかわらず、温度指示値が制御設定(250±20°C)より大幅に低い160°Cを割り込みANNが発生した。	本ヒータケーブルはペネ貫通部に於いて格内側とアニュラス側それぞれに圧着スリーブで接続されており、アニュラス側で接続不良を起こしていたため新たな圧着スリーブにより接続し直した。
15	S.58.7.28 書類No. 原1-58-120	2次予熱ヒータSCII-61地絡	SCII-61のヒータスイッチを「自動」とした際、2HD地絡ANNが発生した。	SCII-61の絶縁低下が確認されたため、ヒータを交換した。
16	S.58.12.20 書類No. 原1-58-250	2次予熱ヒータ制御盤温度低警報誤動作	コンパレータの制御系異常と思われる温度低、高のANNが頻発した。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯していて不規則な動きをしていた。	コンパレータのリードリレー異常に生じたもので、リードリレー基板を交換した。
17	S.59.1.1 書類No. 原1-58-257	2次予熱ヒータSCII-146不良	SCII-146が制御(200±20°C)下限の180°Cを割り込んでもヒータが入らず160°CのANNに到る事象が発生している。	予熱ヒータ投入用リレーの接点不良によるもので、リレーの交換を実施した。
18	S.59.2.28 書類No. 原1-58-312	予熱ヒータC/C(6)引込ユニットNFB不調	C/C(6)引込ユニットのNFBが外れかかっている。	NFBノブと操作ハンドルの爪とを連結する固定リングが外れていたためNFBにガタが発生していたもので、固定リングを固定しなおした。
19	S.59.3.19 書類No. 原1-58-326	2次予熱ヒータ制御コンパレータ異常	「予熱ヒータ異常」ANN発生のため予熱制御盤の確認を行ったところ、SC-Iコンパレータ自己チェック制御用ランプが点灯していた。リセットしても次のスキャニングでまた点灯する。	ゾーン制御基板のリードリレー異常に生じたもので、リードリレー基板を交換した。
20	S.59.4.5 書類No. 原1-59-3	2次予熱ヒータ異常ANN発生	2次予熱ヒータ異常ANNによる現場確認の結果、引込ユニットNFB(6)がトリップしていた。地絡過電流继電器は動作していない。	引込ユニットNFB(6)のNFBのトリップコイルに焼損があることから、トリップ機構の機械的動作不良と判断し、NFBの交換を行った。
21	S.59.4.7 書類No. 原1-59-6	2次予熱ヒータ制御盤A動作不良	コンパレータの制御系異常と思われる温度低、高のANNが頻発した。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯していて不規則な動きをしていた。	当該機器の監視を強化したが、その後異常事象は発生せず、処置できなかった。
22	S.59.4.20 書類No. 原1-59-17	2次予熱ヒータSCII-61熱電対不良	SCII-61の温度指示値がヒータ投入状態にあるにもかかわらず37°Cしかない。	ヒータケーブルの現場コネクター接続部分において接触不良が確認されたため、コネクターオス側のピンを調整し、接触を良くした。

表3.2-2 2次予熱ヒータ設備補修状況(3/6)

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処 置
2 3	S.59.5.14 書類NO. 原I-59-39	2HC P/C地絡ANN発生	2HC P/C地絡ANNが発生し、SCI-5 2ヒータOFFにてリセットすることが出来た。	1A主冷却器内装ヒータ(AC31.2-1 A-01H)の絶縁抵抗ガ0MΩであることを発見したため、当該ヒータを端子台にて除外した。
2 4	S.59.6.4 書類NO. 原I-59-50	2HC P/C地絡ANN発生	2HC P/C地絡ANNが発生し、SCI-6 1ヒータがONにて発生することが判明した。	2A主冷却器内装ヒータブロックの内、NO.289、297、329の絶縁抵抗ガ0MΩであることを発見したため当該ヒータを端子台にて除外した。
2 5	S.59.6.11 書類NO. 原I-59-61	2次予熱ヒータ引込ユニットNFB (1)不調	引込ユニットNFB点検後NFB(1)をONとしたが投入出来なかった。	トリップリセット用フックの動きが悪かったため、フック部分の清掃及びグリスアップを行った。
2 6	S.59.7.19 書類NO. 原I-59-101	2次予熱ヒータ制御盤Aアドレス表示不点灯	制御盤Aアドレス表示の百の位が表示されない。	アドレス表示の百の位のランプを交換した。
2 7	S.59.7.26 書類NO. 原I-59-109	2次予熱ヒータ制御盤Aアドレス表示不点灯	制御盤Aアドレス表示の壱の位が表示されない。	アドレス表示の壱の位のランプを交換した。
2 8	S.59.9.24 書類NO. 原I-59-164	2次予熱制御盤Aコンバレータ異常	コンバレータの制御系異常と思われる温度低ANNが頻発し、温度指示値もふらついていた。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯していて不規則な動きをしていた。	SCIアドレス切替リープリント基板の接点不良が発生していたため、当該基板の交換を実施した。
2 9	S.59.10.25 書類NO. 原I-59-191	2HC P/C地絡ANN発生	2HC P/C地絡ANNが発生した。SCI-5 3、5 4(2A DHX内装ヒータ)を切りとすると地絡ANNはリセットできた。	絶縁抵抗確認を行ったが特に異常は無く、再現性も無いため処置できなかった。
3 0	S.59.11.6 書類NO. 原I-59-201	2次予熱ヒータSCI-128温度異常	SCI-128の温度指示値が同一系統の他のヒータに比べ著しく低く12.5℃しかない。	点検の結果ヒータに異常は認められなかった。処置としては、予備ヒータを並列に接続し容量アップを図った。
3 1	S.60.1.14 書類NO. 原I-59-248	2次予熱ヒータ制御盤Bスキャニングコントローラ異常	コンバレータの制御系異常と思われる温度低ANNが頻発した。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯していて不規則な動きをしていた。	SCIアドレス切替リープリント基板の交換を実施した。
3 2	S.60.7.5 書類NO. 原I-60-60	2HC及び2HD P/C地絡ANN発生	2次系昇温のため、ヒータの投入を行ったところ、主冷却器内装及びヘッダーのヒータで地絡が発生した。	1A、2A空気冷却器内装ヒータについて全数更新した。
3 3	S.60.7.27 書類NO. 原I-60-71	2次予熱ヒータ接触器SCI-72 Rランプ不点灯	SCI-72接触器のRランプが点灯しない。	C/Cユニットの分解点検及び増締めを実施した。
3 4	S.60.8.2 書類NO. 原I-60-75	2次予熱制御盤Aスキャニング切替え不良	コンバレータの制御及び警報用上限アラーム、SCI-157、159が点灯しANNが発生する。また、スキャニングランプが2箇所同時に点灯している。	リードリレー異常により生じたもので、基板を交換した。

表3.2-2 2次予熱ヒータ設備補修状況（4／6）

番号	発生年月日	異常項目	内容	処置
35	S.60.8.6 書類NO. 原1-60-78	2次予熱ヒータSCI異常	SCI-138、143、151の下限ANNが温度制御範囲内に入っているにもかかわらず発生する。	リードドリーレ異常により生じたもので、基板を交換した。
36	S.60.8.17 書類NO. 原1-60-85	2次予熱ヒータブロック停止用PB 破損	SCI-IIブロック3のPBLAMPソケット部分が破損している。	ソケット部分を交換した。
37	S.60.10.12 書類NO. 原1-60-113	2次予熱ヒータSCII-155C/ C異音	SCII-155のC/C内マグネットコンタクタよりうなり音が発生している。	アーマチュアの接触不均一による振動が原因と思われるが、機能的には現状で特に問題ないため、特に処置していない。
38	S.60.10.29 書類NO. 原1-60-127	2次予熱ヒータSCI-56地絡発生	SCI-56の地絡が発生し、ANNが解除できない。	当該ヒータブロックの内、NO. 1及びNO. 5が各々0.1MΩ、0MΩであることを確認したため、ヒータ交換を行った。
39	S.61.4.18 書類NO. 原1-61-12	2次予熱制御盤SCII-150警報 作動点不良	SCII-150の温度低警報設定が150°Cであるが、160°Cで温度低ANNが発生する。	再現性がなく処置できず、自然復帰した。
40	S.61.12.17 書類NO. 原1-61-163	2次予熱ヒータSCII-91警報点不良	SCII-91の温度低ANN設定値は150°Cであるが、指示値240°CにおいてANNが発生した。	再現性がなく、点検で異常は認められなかったため処置できなかった。
41	S.61.12.19 書類NO. 原1-61-165	2HC P/C 地絡ANN発生	2HC P/C 地絡ANNが発生した。C/C引き込みユニット”N”がトリップしていたため、負荷側のヒータを「入」「切」して調査した結果、SCI-111が原因と判明した。	ヒータ端子が外れ端子ボックスに接触していたため、端子及び端子ボックスを正常に固定した。
42	S.62.1.2 書類NO. 原1-61-181	2次予熱ヒータ接触器SCI-72 Rランプ不点灯	SCI-72接触器のRランプが点灯しない。	C/CユニットのRランプ点灯用降圧トランス1次側の断線によるもので、トランスの交換を実施した。
43	S.62.3.23 書類NO. 原1-61-225	2次予熱ヒータSCI-117指示不良	SCI-117の温度指示値が接触器「入」の状態で28°Cしかない。	再現性がなく、点検の結果も異常は認められなかったが、別件でヒータの更新を実施した。
44	S.62.5.16 書類NO. 原1-62-31	2次予熱ヒータSCI-117地絡	SCI-117の地絡が多発している。	点検の結果原因は判明しなかったが原因として可能性の大きい地絡继電器及び、ヒータの交換を実施した。
45	S.62.5.31 書類NO. 原1-62-37	2次予熱ヒータSCI-118地絡	SCI-118の地絡が多発している	点検の結果原因は判明しなかったが原因として可能性の大きい地絡继電器及び、ヒータの交換を実施した。
46	S.62.6.19 書類NO. 原1-62-55	2次予熱ヒータSCI-53温度制御用熱電対断線	SCI-53の温度高ANNが発生したため現場確認したところ、補償導線が断線していた。	工事資材等の接触により、熱電対コネクター部の半田つけ部分が断線した。再度半田づけし直した。
47	S.62.7.14 書類NO. 原1-62-63	2次予熱ヒータSCI-54温度制御用熱電対断線	SCI-54の温度高ANNが発生したため現場確認したところ、補償導線が断線していた。	熱電対コネクター部の半田つけ部分が断線していたため、再度半田づけし直した。

表3.2-2 2次予熱ヒータ設備補修状況(5/6)

番号	発生年月日	異常項目	内容	処置
4 8	S.62.7.23 書類NO. 原1-62-69	2次予熱ヒータSCI-53制御異常	SCI-53の温度高と制御異常ANNが同時に発生した。	熱電対コネクター部の半田つけ部分が断線していたため、再度半田つけし直した。原因は前回補修時の接続不良によるものと思われる。
4 9	S.62.10.28 書類NO. 原1-62-124	2次予熱ヒータSCI-87温度指示低下	SCI-87の温度指示がヒータ投入状態にもかかわらず、一旦139°Cまで低下しANNが発生した。	ヒータ取付け状態など特に異常はなく再現性もないため、処置できなかった。
5 0	S.62.11.28 書類NO. 原1-62-136	2次予熱ヒータ制御装置不調	予熱ヒータの制御を温態待機から出力運転モードに切替えたが、ダンプタンク外装ヒータから内装ヒータへ切替わらなかった。	二重切替装置のA系、B系切替えコネクターが待機側の状態でオペコン操作を行ったため発生した。コネクターの切替えにより正常に復帰した。
5 1	S.62.12.1 書類NO. 原1-62-137	2次予熱ヒータSCI-59温度指示不良	SCI-59の温度が148°Cで温度低ANNが発生した。周辺ヒータの温度比べ50°C以上低い指示を示している	点検で異常は認められなかった。
5 2	S.63.1.7 書類NO. 原1-62-161	2次予熱ヒータSCI-87温度指示低下	SCI-87の温度が144°Cしかなく、周辺ヒータの温度に比べ80°C~100°C低い指示を示している。	SCI-87のウエルの固定不良により発生していたもので、予備ウェルへの付け替えを行った。
5 3	S.63.1.30 書類NO. 原1-62-167	2次予熱ヒータ制御装置異常	予熱ヒータ制御装置において「A系制御装置異常」ANNが発生した。ディスプレイユニットにはエラーメッセージはなかった。	再現性がなく、点検の結果も異常は認められなかった。 原因不明で自然復帰した。
5 4	S.63.6.19 書類NO. 原1-63-04	2次予熱ヒータSCI-63温度指示不良	SCI-63の温度が544°Cを指示しANNが発生したため調査していたところ、256°Cの正常値に復帰した。	信号ラインの接触不良によるものと思われるが、導通点検ではとくに問題なかった。熱電対コネクターの分解増締めを実施した。
5 5	S.63.8.30 書類NO. 原1-63-116	2次予熱ヒータSCI-96温度低発生	SCI-96の温度低(設定140°C)が頻発する。	SCI-96の熱電対ウエル廻りの保温材不足により、(V35.2-4Aバルブのヒータボックスが一部露出していた)保温材の補充を行った。
5 6	S.63.10.2 書類NO. 原1-63-138	2次予熱ヒータNFB(M)低電圧トリップ不良	電源盤点検において、低電圧でトリップするはずの2次予熱ヒータ電源引き込み用NFBのうち、NFB-MのみがトリップせずにON状態であった。	トリップ機構の動作不良により、トリップコイルが励磁されたにもかかわらずNFBがトリップせずにNFBコイルが焼損したための異常で、NFBの交換を実施した。
5 7	S.63.11.11 書類NO. 原1-63-171	2次予熱ヒータSCI-62制御不良	SCI-62のヒータが制御系から「ON」信号がでているにもかかわらず接触器は投入されない。	電磁接触器の制御接点(コネクタ)不良によるもので、コネクター部分の調整を行った。
5 8	S.63.12.17 書類NO. 原1-63-208	2次予熱ヒータSCI-109温度指示不良	SCI-109の温度低ANN(設定160°C)が発生した。調査の結果、指示値が、系統の上流側及び下流側の温度に比べ15°C以上低かった。	ヒータの制御及び取り付け状態には特に異常は無く、プラント降温で系統全体の温度が低下し、ANNとなつた。
5 9	H.1.1.20 書類NO. 原1-63-235	2次予熱ヒータ制御装置異常	予熱ヒータの制御を温態待機から出力運転モードに切替えたが、ダンプタンク外装ヒータから内装ヒータへ切替わらなかった。	二重切替装置のA系、B系切替えコネクターが待機側の状態でオペコン操作を行ったため発生した。コネクターの切替えにより正常に復帰した。

表3.2-2 2次予熱ヒータ設備補修状況 (5/6)

番号	発生年月日	異常項目	内容	処置
6 0	H.1.7.19 書類No. 原1-1-69	2次予熱ヒータ制御装置異常	A系制御中に、Aコネクタ選択で運転モードの変更をしようとしたが、通信異常が発報し、運転モードの選択や監視画面の呼び出し等が不能となった。	A系インターフェイスカードの動作不良により発生した。カードをリセットし復旧した。
6 1	H.2.3.24 書類No. 原1-1-224	2次予熱ヒータSC II-127電磁接触器コンダクタの接触不良	SC II-127が予熱温度制御盤CRTで「入」状態であるにもかかわらず予熱温度が低下するため、手動でON-OFFを繰り返したところ正常に温度回復した。	電磁接触器コンダクタの接点磨耗が確認されたため、電磁接触器の交換を実施した。
6 2	H.2.5.1 書類No. 原1-2-23	2次予熱ヒータ引込ユニットNFB (S) 地絡	2HC P/C地絡ANNが発生したため、調査したところ、引込ユニットNFB (S)がトリップしていた。ANN発生はSC I-53の投入タイミングと一致していた。	SC I-53の21本のヒータの内、1本の絶縁抵抗値が0Ωであった。本ヒータは主冷却器用内装ヒータであり、ANN発生時冷却器開放中であったことと、雨による湿気により発生したものと思われる。隣接するヒータを投入して回復した。
6 3	H.2.8.19 書類No. 原1-2-107	2次予熱ヒータ制御装置故障	6D電源特殊受電後、2次予熱ヒータ制御装置を復旧しようとしたが、メニュー画面が表示されず、操作できなかった。	予熱ヒータ制御卓のハードディスクとヘッドが接触しており、ディスクの回転不良が生じて、読み書きができなくなっていたための異常で、ハードディスクを交換した。
6 4	H.3.3.15 書類No. 原1-2-214	2次予熱ヒータSC II-125温度高ANN誤発報	SC II-125の温度高ANNが発生した。制御装置CRTでは435°Cを示しているが、ダイヤル式指示計は正常値(220°C)であり、リセット可能であった。	再現性がなく、処置できなかった。
6 5	H.3.6.30 書類No. 原1-3-36	2次予熱ヒータ接触器SC I-71に異音発生	SC I-71の電磁接触器にうなり音が発生している。	電磁接触器の経年劣化により、可動部の接点が完全に密着しなくなり、うなり音となっていたもので、接触器の交換を実施した。
6 6	H.3.11.17 書類No. 原1-3-95	2次予熱ヒータSC II-125温度指示不良	SC II-125の温度高ANNが発生した。制御装置CRTでは353°Cを示している。ダイヤル式指示計は正常値(220°C)であるが、たまに瞬時に指示が大きく変動する。	制御盤から熱電対までの信号ケーブルには特に異常はない。シース内の導線の接続部に接触不良があるものと推定されるため、熱電対予備端子へのつなぎ換えを実施した。
6 7	H.4.2.23 書類No. 原1-3-131	2次予熱ヒータ接触器SC II-28異常	SC II-28接触器の制御電源用ヒューズが切れていたため交換したが、トランジistorを自動に戻した時点で再び切れた。	引込みユニットRランプ点灯用トランジistorのコイルの短絡が確認されたため、トランジistorの交換を実施した。
6 8	H.4.6.16 書類No. 原1-4-30	2次予熱ヒータ制御装置調査依頼	温應待機ポイントモードから出力運転ポイントに切替えた後、主冷却器A入口温度が安定しない。	温應待機ポイントモードと出力運転ポイントモードでヒータの優先順位が違ってたため。
6 9	H.4.12.6 書類No. 原1-4-79	2次予熱ヒータSC II-125温度指示調査依頼	SC II-125の温度高ANNが発生した。ダイヤル式指示計は500°Cから600°Cの範囲でゆらいでいる。	再現性がなく、処置できなかった。
7 0	H.5.2.19 書類No. 原1-4-108	2次予熱ヒータ用CRT調査依頼	2次予熱ヒータ用CRTの画面が消灯した。	経年劣化によるものと考えられる。CRTを更新した。

表3.2-3 2次補助予熱ヒータ設備補修状況 (1/3)

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処 置
1	S.56.9.29 書類NO. 原1-56-115	2次補助予熱ヒータ スキャニング コントローラ不良	アドレスNO.2の温度が制御設定範囲内であるにもかかわらずANNが吹鳴する。また、温度指示指針が振れる現象がある。	リードリレー基板の誤動作により生じたもので、基板を交換した。
2	S.57.3.7 書類NO. 原1-56-244	2次補助予熱ヒータSCⅢ-57投入不可	SCⅢ-57ヒータが手動位置では投入できるが、自動位置では作動しない	再現性がなく、点検の結果異常は認められなかった。 原因不明
3	S.57.8.20 書類NO. 原1-57-112	2次補助予熱ヒータ制御盤スキャニ ランプ不良	予熱制御盤でスキャン位置を指示するランプの内、アドレスNO.7が當時点灯状態となっている。	ランプソケットの腐食による絶縁不良であったため、清掃点検を実施した。
4	S.58.3.15 書類NO. 原1-57-271	2次補助予熱ヒータSCⅢ-57制 御不良	SCⅢ-57が制御(200±20°C)下限の180°Cを割り込んでもヒータが入らず160°CのANNに到る事象が頻発している。	予熱ヒータ投入用リレーの接点不良によるもので、リレーの交換を実施した。
5	S.58.12.18 書類NO. 原1-58-248	2次補助予熱ヒータ制御盤警報用コ ンパレータ異常	2次補助予熱ヒータ制御盤でコンパレータ自己チェック位置にスキャンする際、警報Rランプが点灯し、ANNが発生する。	ゾーン制御基板のゲートパルス用リレー接点がメイクしていたため、リレー交換を行った。
6	S.59.2.3 書類NO. 原1-58-280	2次補助予熱ヒータSCⅢ-28温 度指示不良	SCⅢ-28の温度指示が0°Cを示している。	サーモカップルコネクターの接触不良によるもので、コネクタ一部分の半田付けを行った。
7	S.59.2.21 書類NO. 原1-58-307	2次補助予熱ヒータSCⅢ-17ラ ンプ点灯不良	2次補助予熱ヒータC/C盤のSCⅢ-17用グリーンランプが不点灯のため、ユニットをかるくたいたところ点灯した。	接触器補助接点の接点不良によるもので、接触器を交換した。
8	S.59.9.7 書類NO. 原1-59-154	2次補助予熱ヒータSCⅢ-56不 良	2次補助予熱ヒータSCⅢ-56の下限ランプが点灯しているにもかかわらず、C/C盤の当該ヒータは投入されていなかった。	再現性がなく処置できなかった。
9	S.60.7.14 書類NO. 原1-60-66	2次補助予熱ヒータSCⅢ-46自 動投入不良	SCⅢ-46の制御設定は200±10°Cであるが、設定値以下でもヒータが投入されず、150°Cまで低下しANNに至った。	再現性がなく処置できなかった。
10	S.60.7.28 書類NO. 原1-60-72	2次補助予熱ヒータ制御盤自己チ ェック上限警報用コンパレータ点検	補助予熱ヒータ自己チェック上限警報用コンパレータスキャニ時、瞬時警報ランプが点灯し、ANNが発生する。	ゾーン制御基板リードリレー異常に より生じたもので、基板を交換した。
11	S.60.10.8 書類NO. 原1-60-112	2次補助予熱ヒータSCⅢ-38用 スライダックNO.1の接触不良	SCⅢ-38のスライダックに接触不良が有ることを発見した。ダイヤルを回したとき、内部に火花が発生し、一時的に温度上昇するがすぐ低下する。	スライダックブラシの接触不良を確認したため、交換を実施した。

表3.2-3 2次補助予熱ヒータ設備補修状況(2/3)

番号	発生年月日	異常項目	内容	処置
12	S.62.3.7 書類NO. 原1-61-218	2次補助予熱ヒータSCIII-43投入不可	SCIII-43の温度が制御設定範囲内にあるにもかかわらずANNが発生する	再現性がなく、点検の結果も異常は認められなかったが、原因の可能性が大きいスキャニングリレー基板を交換した。
13	S.62.6.2 書類NO. 原1-62-39	2次補助予熱ヒータSCIII-15制御不良	SCIII-15の制御設定値は200 ±10 °Cであるが、160 °CになってもONとならない。また、SCIII-15をスキャニングする時に一瞬ONとなるがすぐ切れる。	予熱ヒータ投入用リレーの接点不良によるもので、リレーの交換を実施した。
14	S.63.2.20 書類NO. 原1-62-183	2次補助予熱ヒータSCIII-67電磁接触器動作不良	SCIII-67の温度低ANNが発報したため調査したところ、バイロットランプはONとなっていたが、電磁接触器は引っ掛けがあり通電していなかった。	電磁接触器を繰り返し「入」「切」したが再現性がなく処置できなかった。
15	S.63.5.23 書類NO. 原1-63-49	2次補助予熱ヒータ制御回路異常	SCIII-43, 53, 63, 71の温度低ANNが温度指示値が制御範囲内であるにもかかわらず頻発する。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯することがある。	リードリレー基板、警報用コンパレータ、リードリレー制御のカウンターカードの交換を行った。
16	S.63.9.9 書類NO. 原1-63-122	2次補助予熱ヒータスキャニング不良	2次補助予熱ヒータ制御盤で温度指示が温度低設定値に達していないにもかかわらず、ANNが発生する。また、スキャニング表示灯が2点同時点灯する	スキャニング基板の交換及びリレー接点の清掃を行った。
17	S.63.10.1 書類NO. 原1-63-137	2次補助予熱ヒータ接触器SCIII-66 Rランプ不点灯	SCIII-66接触器のRランプが点灯しない。	ランプのゆるみがあり増縮めを行った。他は特に異常はなかった。
18	S.63.10.19 書類NO. 原1-63-152	2次補助予熱ヒータSD-8異常	補助予熱ヒータSD-8の電圧変更時、スライダック内部でアーケが発生する。	スライダックの交換を実施した。
19	S.63.12.5 書類NO. 原1-63-207	2次補助予熱ヒータ下限温度設定不良	SCIIIブロック1,2の温度制御設定を240 ±10°Cから200 ±10°Cに変更したが、スキャニング点が変わると下限設定値が自動的に変化し、230 °Cとなつた。尚、上限温度設定は変化せず正常である。	SCIIIブロック4の下限設定を選択するリレーがメイクしていたため、他のブロックが選択された時もブロック4設定と混触して生じた異常で、リレーの交換を実施した。
20	H.1.1.19 書類NO. 原1-63-234	2次補助予熱ヒータ接触器SCIII-66 Rランプ不点灯	SCIII-66接触器のRランプが点灯しない。	Rランプ表示灯用の2次側コイルが断線していた。予備ユニット内のトランスと交換した。
21	H.2.1.4 書類NO. 原1-1-174	2次補助予熱ヒータ異常ANNの誤報	ブロック1の警報除外をリセットしたこと、アドレス3の温度低ランプが点灯し、ANNが発生した。アドレス3の警報設定は150 °Cで指示温度は(228 °C)ANN値に達していない。	点検の結果再現性はなかったが、原因として考えられる基板の交換、リードリレー接点の清掃を行った。

表3.2-3 2次補助予熱ヒータ設備補修状況（3／3）

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処 置
2 2	H. 2.1.5 書類No. 原1-1-175	2次補助予熱ヒータSCⅢ-64温度低誤発報	SCⅢ-64が警報下限設定値(150°C)に達していない(183°C)にもかかわらずANNが発報する。	点検の結果再現性はなかったが、原因として考えられる基板の交換、リードドリーパー接点の清掃を行った。
2 3	H. 2.6.15 書類No. 原1-2-58	2次補助予熱ヒータSCⅢ-28温度異常	SCⅢ-28の温度指示値が急激に低下し、温度低ANNが発報した。温度指示は12°Cを示している。	SCⅢ-28の熱電対と補償導線を接続するコネクター部の半田付け部分の断線が確認されたため、半田付けをし直した。
2 4	H. 2.8.8 書類No. 原1-2-99	2次補助予熱ヒータSCⅢ-46温度異常	SCⅢ-46の温度低ANNが発報したため確認したところ、ヒータは投入状態にあるにもかかわらず、温度が147°Cから上昇しないことを発見した。	点検の結果再現性はなかったが、電磁接触器の接点の磨耗が確認されたため、接触器の交換を実施した。
2 5	H. 2.12.16 書類No. 原1-2-178	2次補助予熱ヒータSCⅢ-10温度低ANN誤発報	SCⅢ-10の温度が制御範囲内(218°C)にあるにもかかわらず温度低ANN(警報設定値150°C)が発報する。	SCⅢ-10の温度低警報用リレーの接点がメイクしていたため発生したもので、リレーの交換を行った。
2 6	H. 3.3.4 書類No. 原1-2-209	2次補助予熱ヒータSCⅢ-64温度低ANN誤発報	SCⅢ-64の温度が制御範囲内(218°C)にあるにもかかわらず温度低ANN(警報設定値150°C)が発報する。	スキャナリレー接点へのほこり等の付着により生じたもので、リレー接点の清掃を実施した。
2 7	H. 3.3.11 書類No. 原1-2-212	2次補助予熱ヒータSCⅢ-60温度低ANN誤発報	SCⅢ-60の温度が制御範囲内(190°C)にあるにもかかわらず温度低ANN(警報設定値150°C)が発報する。	スキャナリレー接点へのほこり等の付着により生じたもので、リレー接点の清掃を実施した。
2 8	H. 3.5.3 書類No. 原1-3-16	2次補助予熱ヒータSCⅢ-56温度制御異常	SCⅢ-56の制御設定は200±20°Cであるが、設定値以下でもヒータが投入されず、143°Cまで低下しANNに至った。手動ではヒータ投入可能である。	スキャナリレー接点へのほこり等の付着により生じたもので、リレー接点の清掃を実施した。
2 9	H. 3.5.7 書類No. 原1-3-17	2次補助予熱ヒータSCⅢ-64温度低ANN誤発報	SCⅢ-64の温度が制御範囲内(190°C)にあるにもかかわらず温度低ANN(警報設定値150°C)が発報する。	スキャナリレー接点へのほこり等の付着により生じたもので、リレー接点の清掃を実施した。
3 0	H. 3.9.26 書類No. 原1-3-68	2次補助予熱ヒータSCⅢ-58温度低ANN誤発報	SCⅢ-64の温度が制御範囲内(220°C)にあるにもかかわらず温度低ANN(警報設定値150°C)が発報する。	スキャナリレー接点へのほこり等の付着により生じたもので、リレー接点の清掃を実施した。
3 1	H. 3.11.15 書類No. 原1-3-94	2次補助予熱ヒータコンパレータ自己チェック上限警報用回路異常	予熱制御盤においてコンパレータ「自己チェック上限警報」をスキャンする度に、一瞬、上限警報のRランプが点灯しANNが発報する。	制御装置ゾーン制御基板リレー接点の異常が確認されたため、ゾーン制御基板の交換を実施した。
3 2	H. 4.2.22 書類No. 原1-3-129	2次補助予熱ヒータ制御装置異常	制御装置のスキャニングが順番通りで無い。また、温度指示値が大きく変動する場合があり、警報下限ANNが発報する。	リードドリーパー基板の誤動作により生じたもので、基板を交換した。
3 3	H. 4.3.19 書類No. 原1-3-151	2次補助予熱ヒータ制御装置異常	原子炉核加熱中、SCⅡ-42が上限警報値に達していないにもかかわらずANNが発報した。また、その後、十数個のヒータに同様の異常が発生した。	再現性が無く処置できなかった。

表3.2-4 予熱ヒータパワーセンタ補修状況

番号	発生年月日	異常項目	内 容	処置
1	S.59.6.30 書類No. 原1-59-77	1HD P/Cインターロック扉不良	1HD P/Cの851D1 KS盤の扉は、152D6遮断器開放後でないと開けられないインターロックが施されているが、容易に開放することが出来る。	扉のインターロック用のロック板が開閉動作により変形していたため、修正処理を施した。
2	S.61.9.25 書類No. 原1-61-105	1HC P/C 保護继電器ターゲット不動作	1HC P/CのANNが発生したため現場確認した結果、故障表示は点灯しているものの保護继電器ターゲットは作動していなかった。	単体作動検査の結果特に異常は認められず、再現性もないため処置できなかった。

3.2.2 改造、更新履歴

予熱ヒータ設備の改造、更新を含めた保守は、主に過去9回の定期検査期間を利用して実施されている。ここでは、その材質変更（2次系予熱ヒータの交換）、制御方法の大幅な機能向上となった更新（2次系予熱ヒータ制御系の更新）及び機能試験により確認された1次オーバフロー系戻り配管の熱衝撃緩和対策の3件についてまとめた。

(1) 2次系予熱ヒータの交換

SN941 83-128 「第3回定期点検報告書」

SN941 88-053 「第6回定期点検報告書」

2課メモ 03-77 「2次冷却系予熱ヒータの保守履歴」

① 概要

電気ヒータ本体に関する保守は、主に定期検査期間において行われている。またその交換は予め行う絶縁抵抗測定の結果を基に実施されている。

ここでは、昭和56年の第3回定期検査において、空気冷却器の内装ヒータに絶縁劣化が発生し、その対策として行った材質変更を伴う更新と、その後の定期検査での2次系ヒータの更新実績についてまとめて示す。

表3.2-5に2次予熱ヒータの保守・交換実績表を示す。

② 絶縁低下の原因と対策

第3回定期検査において空気冷却器の内装ヒータに絶縁劣化が発生した。原因としては、当初、高温による端子部のシール材（エポキシ樹脂）のクラックによる吸湿と判断し、予備品のヒータを用いて端子部シール材の材質だけを高温強度に優れたセラミック材として主冷却器に設置した。しかし、昭和57年2月に行った点検では設置した384本中124本にクラックによる絶縁低下が確認され、再度原因の調査となった。

再調査の結果シース材料の粒界に炭化物が析出し、銳敏化していることが判明した。

これは、ヒータ製作時の熱処理に問題があるとの判断から、対策としてシース材をSUS 316TPから銳敏化しにくいSUS 316LTPに変更し、さらに固溶化熱処理により应力除去を図った。

固溶化熱処理の方法を⑤備考に詳述する

③ ヒータ更新の経過

[第3回定検]

前述のとおり、ヒータ端子シール材をエポキシ樹脂からセラミック製に変更したが、製作設置した主冷却器内装ヒータ全数384本の内、124本に絶縁異常を発見した。また、同様に改造して予備品とした384本の内の206本にも絶縁異常が生じていた。

このように、運転上継続使用が困難な状況が生じたため、主冷却器1B・2B内装ヒータ192本全数をセラミックシール端子、SUS 316LTPシースで新規製作し、昭和57年4月から8月にかけて交換した。また、1A、2Aに関しては試験的に、シース材はSUS 316TPでセラミックシール端子への改良だけにとどめて交換した。

[第5回定検]

第5回定検では、第3回定検において試験的に交換した1A、2Aの内装ヒータの絶縁低下が確認された。このため、セラミックシール端子、SUS 316LTPシースで新規製作を行い192本全数を交換した。

また、1A、2A用ヒータ製作に際し、主冷却器内装ヒータの1本毎の交換を可能とする設備改善を図3.2-1に示すとおり実施した。

[第6回定検]

第6回定検では、配管ヒータの絶縁低下が認められた。原因是、ヒータの設置雰囲気、材質、メーカーが同一であることから前述の空気冷却器内装ヒータで経験した、ヒータシースの粒界腐食割れによる吸湿と同様の事象と推定した。このため、空気冷却器内装ヒータの交換に際して絶縁低下防止対策としたシース材のSUS 316LTPへの変更と固溶化熱処理を施した。

尚、更新した210本のヒータは、保守性を考慮してコネクター形状の変更（E型コネクタ）を行った以外は、容量、電力密度などの性能的な仕様を既設品と同等とし、シース以外の計装品、ケーブルなどは既設を再使用した。また、配管ヒータ端子部分は、保温材外部に露出し常温であることから、エポキシ樹脂シールとした。

〔第8回定検〕

第8回定検では、機器・配管用ヒータの54本に絶縁低下が認められたため交換した。更新したヒータは、シース材のSUS 316LTPへの変更及び固溶化熱処理を施したもので、端子部シール材質はエポキシ樹脂とした。

〔第9回定検〕

第9回定検では、配管用ヒータ34本に絶縁低下が認められ、シース材質の変更、固溶化熱処理、及び端子部シール材質のセラミックへの変更を行った。

尚、本定検において、第5回定検で交換した1A主冷却器内装ヒータの内の5本に絶縁低下を発見し交換した。

④ 更新結果

前述のとおり、過去の定検においてヒータの絶縁低下に伴う改善を行ってきた。

しかし、改善後に少数のヒータに絶縁低下が確認されており、実施した対策が最善のものかどうか今後の経過を十分見守っていく必要がある。

これまでに交換されたヒータ数は合計687本となり、設置されている2次系ヒータ2203本（予備を含む）の31%となった。

⑤ 備考

・ヒータ交換基準

「常陽」で採用しているヒータ交換基準の $2 M\Omega$ はJIS低圧電気機器の絶縁基準を参考として、一般的に適用する $1 M\Omega$ に余裕を持たせた値である。

・固溶化熱処理

固溶化熱処理はオーステナイト鋼の鋭敏化の対策として行う熱処理であり、粒界への炭化物の析出を抑制するものである。この熱処理は、シース材の健全性を担保する上で、加熱温度、保持時間、冷却温度等の条件管理が重要である。

ここでは、その条件をJISG-8459及び製作メーカの規格に基づき次の様に決定した。

固溶化熱処理の要領を以下に示す。

- ① 热処理温度 : 1010 ~ 1100°C
- ② 热処理時間 : 約2.5分
- ③ ヒータ送り速度 : 250mm/min
- ④ 冷却速度: 400°Cまで 5分以内 (空冷)

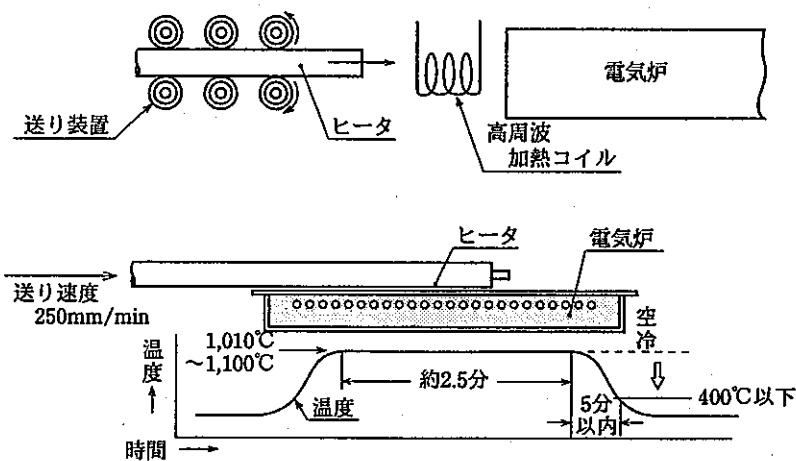


表3.2-5 2次予熱ヒータ保守・交換実績

定期検査	不具合事象	保守内容	交換したヒータ仕様		熱処理方法 ○は固溶化 △は応力除去	交換ヒータ 本数	累積交換本数
			シース材	端子部シール材			
1回	—	—	—	—	—	0	0
2回	—	—	—	—	—	0	0
3回	絶縁抵抗の低下 ↓ [原因] 材料検査の結果、材料の粒界に炭化物が析出し、鋭敏化してから粒界腐食に対しもろい状態となり、クラックの発生に至った。このクラックにより吸湿し絶縁抵抗の低下が発生した。	1B・2B空気冷却器内装ヒータの新規製作及び交換 1A・2A空気冷却器内装ヒータは端子部のみセラミックに改良した。	SUS316TP SUS316LTP	セラミック	○ △	192	192
4回	—	—	—	—	—	0	192
5回	第3回と同様	1A・2A空気冷却器内装ヒータの新規製作及び交換	SUS316LTP	セラミック	○	192	384
6回	絶縁抵抗の低下	配管用ヒータの新規製作及び交換	SUS316LTP	エポキシ樹脂	○	210	594
7回	—	—	—	—	—	0	594
8回	絶縁抵抗の低下	配管・機器用ヒータの新規製作及び交換	SUS316LTP	エポキシ樹脂	○	54	648
9回	絶縁抵抗の低下	配管用ヒータ及び1A空気冷却器内装ヒータ5本の新規製作及び交換	SUS316LTP	セラミック	○	39	687

— : ヒータ絶縁抵抗測定結果で異常なしを示す。

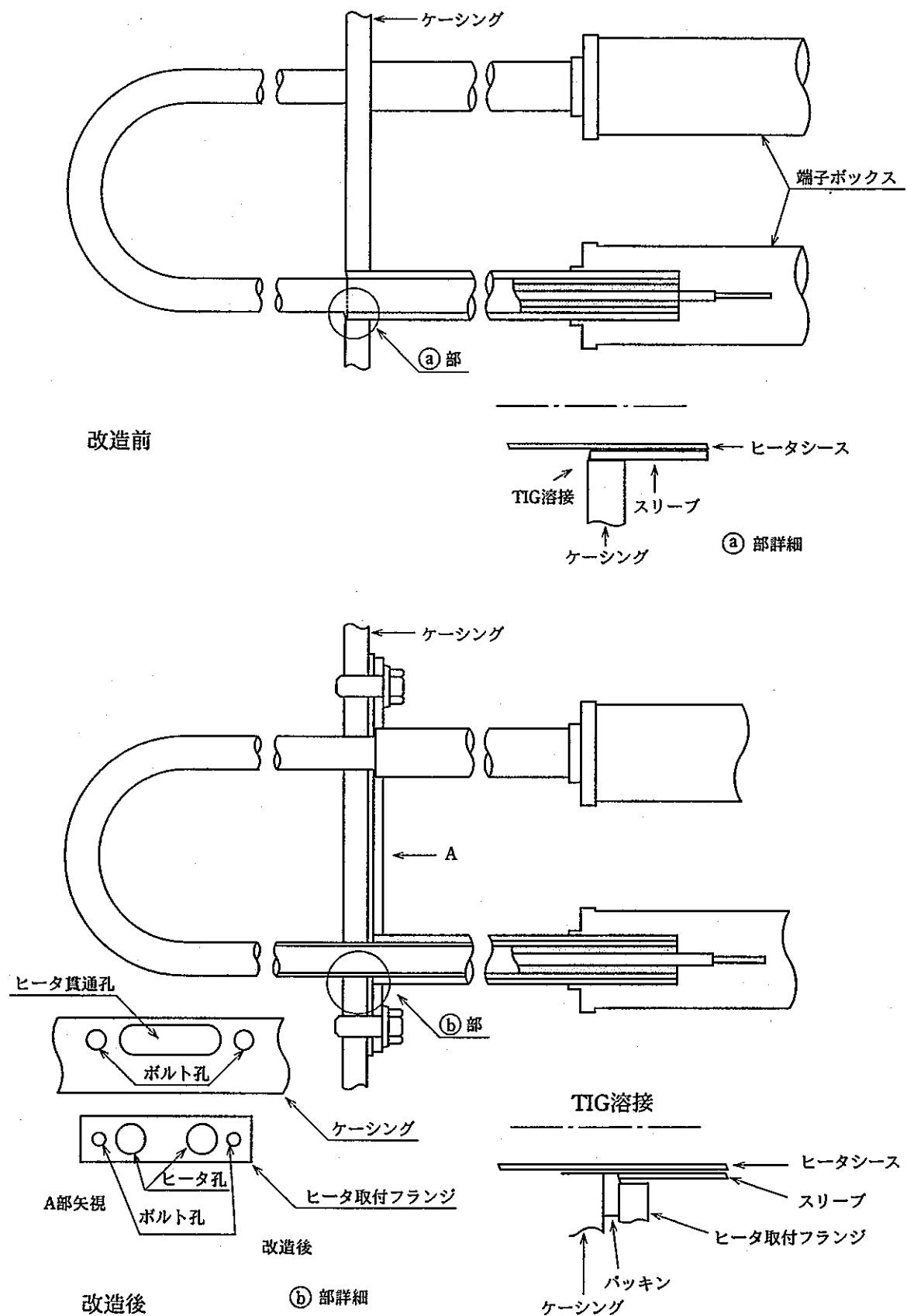


図3.2-1 空気冷却器内装ヒータの固定方法の改良

(2) 2次予熱ヒータ制御系更新

S N 9 4 1 8 8 - 0 5 3 「第6回定期点検報告書」

① 更新期間

1986年12月～1987年9月

② 更新概要

2次系予熱ヒータ設備の予熱制御装置は、温度制御用コンパレータ回路、ヒータ制御用リレー、スキャナーなど多数の電子機器で構成され、ON-OFF制御によりナトリウム機器、配管の予熱・保温を行っている。しかし、長年の連続使用による電子機器部品等の劣化が著しく、不具合の発生件数が増加したばかりか、補修部品の入手が困難となり、装置の健全性が確保できない状況となった。

このような2次予熱ヒータ制御装置の状況を受け、第6回定期検査期間において改造を含めた更新を実施した。

更新では、制御方法をそれまでのアナログ方式からマイクロコンピュータを用いたデジタル方式に変更すると共に、コンピュータの機能を活用したシステムとした。

③ 新制御装置の機能

制御装置の更新範囲は、予熱制御装置本体部分についてのみであり、予熱制御装置以外の補償導線、ヒータ、熱電対、制御ケーブル及びヒータ動力回路については既設設備をそのまま使用した。

システム機能としては、従来から有る機能も含めて以下に示すとおりであり、系統の運転に合わせて各機能についての試験を実施した。その結果、一部の制御においてソフトウェアの改造が必要であることが判明したが、概ね当初の計画を満足することができた。

イ. 制御モード選択機能：プラント状態に合わせた6種のモードの選択が可能である。

各制御モードの主要な設定を表3.2-6に示す。

ロ. ゾーン制御機能：基本的には従来の機能を引き継いだものである。

ハ. ポイント制御機能：ゾーン制御に比べナトリウム温度の保持精度が高い（ゾーン $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、ポイント $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）。

二. 警報自動設定機能：温度制御用各熱電対の信号を基に、これらに対して一律に自動的に温度「高」及び「低」警報用の上限値、下限値を設定するものである。（ナトリウム流動の無い系統内配管では温度制御によるヒータの投入・遮断の影響が大

きく、警報設定幅を広く取る必要が有り、ナトリウム循環系との分離制御が必要である。)

ホ. 集中監視機能：予熱温度の状態、制御設定値、警報設定値のデータをC R Tにより集中監視できる。また、それらをラインプリンターに出力できる機能が設備された。

ヘ. その他の機能：スキャニング周期設定機能、スキャナリレー切り替え機能、グラフィック画面表示機能、警報除外機能、警報一覧表示機能、警報テロップ表示機能、オペレータコンソールプログラムのメンテナンス機能など各種機能を有している。

尚、本システムは、C P Uの故障などによる機能喪失を防止するため、C P Uを常用と待機系の2重化とし、モニターカード及び2重系切替パネルによりその切替のコントロールを可能としている。また、出力部においても、自動・手動の兼用化を図ることにより、システム異常時の手動での制御を可能としており、運転操作は勿論、保守性も考慮した設備となっている。

表3.2-6 2次予熱ヒータ制御系各運転モードの主要設定値

モード	制御設定値	警報設定値	ダンプタンク制御
出力運転	240±10°C	低：150, 高：400°C	内装ヒータ制御
温態待機	240±10°C	低：150, 高：400°C	外装ヒータ制御
燃料交換	240±10°C	低：160, 高：290°C	外装ヒータ制御
Na充填・ドレン	200±10°C	ON-OFF設定±20°C	外装ヒータ制御
高温待機	370±10°C	低：150, 高：400°C	内装ヒータ制御
予備	任意に設定		

④ 新制御装置の運転実績

1課メモ 63-3342

I9410 89-012 「2次主冷却系新型予熱ヒータ制御装置の運転特性」

[目的]

2次予熱ヒータ制御装置の更新において、新たに主冷却器入口のNa温度を目標温度に対して±1°Cの範囲で制御するポイント制御方式を付加した。

従来から有るゾーン制御機能との運転状態・実績に関する比較調査を行い、今後の運転方法に資する。

[ゾーン及びポイント制御の概要]

2次予熱ヒータ温度制御方式には、前述のとおりゾーン制御とポイント制御の2方式がある。

ここで、ゾーン制御は、各ヒータ毎に設定した制御範囲内に入るように個々のヒータのON-OFFを行うものである。一方、ポイント制御は複数個のヒータを1ブロック単位とし、その代表温度（I, II系とも主冷却器入口温度）と制御設定値を比較し、予め定めた優先順位に従いヒータの「入」「切」を行うものである。

[結論]

イ. ゾーン制御に比べてポイント制御は、系統温度のふらつきが少なく安定した温度制御を行うが、その反面ヒータ用接触器の動作回数が増加し、ON-OFF動作による接触器の負担が大きくなる。

ロ. 系統の昇温については、同じプラント条件下での昇温例が乏しいため、ゾーン制御とポイント制御の昇温率に有異な差は確認出来なかった。

ハ. Na充填・ドレンモード（系統温度200 °C）において消費電力量の調査を行ったところ、ゾーン制御に比べポイント制御の方が少ない結果が得られた。

これは、ポイント制御が制御設定温度（200 °C）で安定するのに対し、ゾーン制御では設定温度（200 ±10°C）の上限側（約 210）で安定することによる10°Cの温度差分の電力消費の影響によるものと思われる。

[調査結果]

イ. ヒータ用電磁接触器の動作回数

Na充填・ドレンモード（系統温度200 °C）において、ゾーン制御とポイント制御双方の接触器動作回数を、対象となる接触器全数（267台）を対象に行った。その結果は次表のとおりで、ポイント制御においては著しくヒータON-OFF回数が増加することが判明した。

ポイント制御 : 10分間の平均動作回数 93.2回

調査日	調査時刻	10分間の動作回数	10分間の平均動作回数
7/6	22:30	105	93.2
7/8	3:30	115	
7/11	14:40	142	
7/19	14:40	37	
7/19	14:50	67	

ゾーン制御 : 10分間の平均動作回数 10.3回

調査日	調査時刻	10分間の動作回数	10分間の平均動作回数
7/21	16:10	12	10.3
7/22	22:10	10	
7/23	4:30	9	

接触器の寿命評価

ポイント制御を選択した場合、2次主循環系のヒータ（S C I - 0 0 1 ~ 0 7 5、S C II - 0 0 1 ~ 0 7 1）の134基はポイント制御運転となるが充填・ドレン、Arガス系などのヒータ（133基）は全てゾーン制御の状態で保持されるため、ポイント制御への切替えによる接触器動作回数の増加は全て2次主循環系のヒータによるものである。

従って、ゾーン制御からポイント制御に変更した時の増加を単純に比較すると次の表となる。

制御方式	主循環系(134基) 10分動作回数	その他(133基) 10分動作回数	全體 10分動作回数
ゾーン制御	5.15	5.15	10.3
ポイント制御	88.05	5.15	93.2

この調査では、サンプリングデータが少なく、単純計算であり、数値的には参考程度であるが、この結果を使って制御方式別の2次主循環系ヒータの接触器寿命を推定すると、次のとおりとなる。

電磁接触器：S型電磁接触器（S-18Y型） 開閉寿命 10～20万回

$$\text{ゾーン制御} : \frac{5\text{回} \times 6 \times 24 \text{ (時間)} \times 30 \text{ (日)}}{134 \text{ (ヒータ数)}} = 161.2 \text{ (回/月)}$$

$$\text{ポイント制御} : \frac{88\text{回} \times 6 \times 24 \text{ (時間)} \times 30 \text{ (日)}}{134 \text{ (ヒータ数)}} = 2837.0 \text{ (回/月)}$$

開閉寿命回数を25万回とすると

ゾーン制御は 250000 (回) ÷ 161.2 (回/月) ÷ 12 (月) = 129.2年

ポイント制御は 250000 (回) ÷ 2837.0 (回/月) ÷ 12 (月) = 7.3年

となる。このようにポイント制御運転における接触器の開閉回数は、ゾーン制御に比べ約20倍となり接触器の負担はかなり大きくなつたといえる。しかし、本データ採取状態が原子炉停止状態でヒータによる系統の温度保持が行われていることや、ポイント制御を連続で使用した場合での試算であるため、実際の運用よりもかなり厳しい値となつてゐる。

□. 系統の昇温時間

2次系の昇温時間について、予熱ヒータ制御装置の更新前・後のゾーン制御と、更新後のポイント制御での結果を調査した。

結果は表3.2-7に示す通り、制御方式の違いによる有異な差は認められなかつた。

表3.2-7 制御方式別の系統昇温率比較

データ採取年月日	59.11.21	60.10.11	61.6.30	62.6.3	62.6.3
制御方式	旧ゾーン	旧ゾーン	旧ゾーン	新ゾーン	新ゾーン
設定値 °C	250 ±20	240 ±10	240 ±10	240 ±10	DHX 250
原子炉状態	停止	停止	停止	停止	停止
1次系流量 %	* 20	100	20	0	**100
2次系流量 %	100	100	100	100	100
外気温度 °C	6	データ無し	17.2	20.4	25.3
変更前DHX 入口温度 °C	A:207 B:206	A:209 B:204	A:212 B:210	A:212 B:207	A:216 B:215
250 °C到達時間	A:20H45M B:21H45M	A:11H34M B:12H34M	A:21H B:22H	A:14H10M B:10H10M	A:13H40M B:14H40M
設定変更後 5時間の 昇温率 °C/h	A: 2.4 B: 2.4	A: 4.6 B: 4.4	A: 2.6 B: 2.8	A: 3.2 B: 4.8	A: 4.2 B: 4.2
設定変更後10時間の 昇温率 °C/h	A: 1.9 B: 2.1	A: 3.5 B: 3.5	A: 2.4 B: 2.4	A: 3.0 B: 4.2	A: 2.9 B: 2.8
1次系流量変更後 5 時間後昇温率 °C/h	A: 3.2 B: 3.0	—	—	—	A: 1.6 B: 1.4

*: 温度設定変更15.5時間後に100%に変更した。

**: 温度設定変更 3.7時間後に100%に変更した。

ハ. 消費電力量の調査

Na 充填・ドレンモード(系統温度200 °C) において、2次系ヒータの制御方式の違いによる消費電力量の比較調査を行った。その結果、表3.2-8に示す通りポイント制御の方がゾーン制御に比べわずかながら少ない結果が得られた。

表3.2-8 制御方式別消費電力量比較

データ採取期間	3/23~4/2	6/25~6/30	*7/1~7/19	7/20~7/27
運転モード	旧温態待機	新温態待機	新Na 充填・ドレン	新Na 充填・ドレン
制御方式	ゾーン	ポイント	ポイント	ゾーン
制御設定 °C	250	DHX 246	DHX 199	200 ±10
1次系流量 %	20	100	0	0
2次系流量 %	100	100	100	100
消費電力 KW/h	2HC P/C	479.7	411.8	266.3
	2HD P/C	320.2	396.1	167.8
	合計	799.9	807.9	434.1
				507.9

*:7/12~15は2次系流量タップ1(約40%)で運転しているため記録から除外した。

旧制御系のデータは昭和55年3月23日から4月2日にかけて採取したものであり、新制御系は昭和63年6月25日から8月1日にかけて採取したものである。

(5) 新制御装置の改善

1課メモ 62-3291

制御装置の更新に伴い、操作及び機能上の不具合点を摘出・改善するため、運転員からのコメントに基づき以下の改善を実施した。

〔改善実績〕

① 電喪時の復旧操作

問題点：電源が喪失した場合、プログラムの初期起動を行わなければならないが、運転側の起動操作が終了後、同じ操作を待機側についても行わねばならず、時間がかかる。外部電源喪失などの異常時は他の緊急に要するプラント操作に影響を及ぼす恐れがある。

改善点・制御装置用電源を無停電系に接続した。

② 予熱ヒータ異常ANNのリセット

問題点：現場盤の警報確認スイッチを押しても中央制御室の警報がリセット出来ない。このため、点検などで警報が発生しているときは、新たな異常が発生しても気付かない恐れがある。

改善点・現場盤の警報確認スイッチを押すことにより、中央制御室の警報がリセット可能なように電気シーケンスの変更を行った。

③ オペレータコンソール運転モードの名称変更

問題点：運転モードの名称が実態と合致していない。

改善点・以下に示すとおり変更した。

(変更後)

運転モード選択

- 1 : 出力運転モード(240±10°C) [D/T内装ヒータ]
- 2 : 温態待機モード(240±10°C) [D/T外装ヒータ]
- 3 : 燃料交換モード(240±10°C) [D/T外装ヒータ]
- 4 : Na 充填・ドレンモード(200±10°C) [D/T外装ヒータ]
- 5 : 高温待機モード(370±10°C) [D/T内装ヒータ]
- 6 : 予 備

[今後の課題]

・警報除外中のヒータの表示

問題点：警報除外中であるか否かをC R Tの監視画面及びグラフィック画面で確認出来ないため、警報点をクリアして正常値となっても警報除外を復帰（警報復帰）し忘れる恐れがある。

・C R Tの監視画面の実動作表示

問題点：監視画面で示されている各ヒータのON-OFF表示は、設定温度に対する制御信号であり、実際のON-OFF表示を示してはいない。

ヒータON-OFF状態の確認は、接触器により行わなければならず実動作表示に改善する。

課 題：本改善には接触器等からの実動作信号を取り込み、処理する必要が有り、大幅な設備改善を伴う。

・ C R T の警報画面の自動切替り

問題点：警報が発生した時には、自動的に A N N 一覧項目画面に切り替わるように改善する。

課題：予熱ヒータ警報発生時には、該当ヒータの表示が出るため、画面まで切替る必要があるかどうか検討を要する。

・ データ記録装置設置

問題点：ヒータの温度変化を記憶する装置を設置し、採取記録の取出しを可能とする。第10回定検時実施した。

・ 制御コンソールの中央制御室設置

制御コンソールを中央制御室に設置する。第10回定検時実施した。

(3) オーバフロー系配管熱衝撃軽減化のためのヒータ補強

S N 9 4 1 8 5 - 2 7 「1次オーバフロー系の運転経験報告書」

① 概要

「常陽」の1次オーバフロー系設備は、1次主循環ポンプトリップを伴う原子炉スクラム等の異常により、オーバフロー系戻り配管のナトリウムの流れが途切れることから、オーバフロー戻り配管の温度が急激に低下することと再オーバフローする原子炉容器内Na温度が高温であることが相まって再オーバフロー時に戻り配管に過大な熱衝撃を生じる恐れがある。

このため、これまで電磁ポンプの運転手法はもとより、保温材の補強や配管温度指示熱電対の追加設置などの設備改善や、それに伴う試験とその評価検討が繰り返されている。

② 熱衝撃の箇所

オーバフロー系の熱衝撃で最も条件の厳しい箇所は、原子炉容器からオーバフローする戻り配管が安全容器を貫通する部分である。図3.2-2に安全容器貫通部の概略図を示す。

本配管貫通部は、戻り配管に補強バンドを溶接し、これにフランジを溶接する構造となっている。このため、急激な温度変化が発生すると補強バンドと戻り配管の間に大きな温度差が発生し、これによる熱膨張の違いから局部的に過大な応力が生じるものである。

以下にこれまで確認された問題点と措置の概要をまとめて示す。

③ 問題点と措置の概要

イ. 昭和53年の50MW性能試験の結果、戻り配管ヒータ温度コントローラの指示値と実際のNa温度に差があることが判明し、戻りライン3本、汲み上げライン1本に配管に直接熱電対を取り付けた。

ロ. 昭和54年に実施した75MW性能試験結果により、戻り配管の急激な温度降下を低減するため、昭和54年10月に配管保温を補強するとともに、戻り及び汲み上げ配管に温度監視用熱電対8本（E、F、G、H、I、J、K、L点）を追加設置した。本改善を踏まえて昭和54年11月にオーバフロー系配管各部の温度挙動確認試験が実施された。

ハ. 昭和54年11月の確認試験を基にした検討やその後の運転実績の評価により、次の検討結果を得た。図3.2-3に配管の冷却現象の要因を図示する。

- ・ フィン効果：貫通部仕切板がフィンとして放熱 →全体に与える影響小
- ・ 煙突効果：垂直部の配管は配管と保温材との隙間が煙突状態となって冷却される
→放熱量は内外温度差にほぼ比例する。
- ・ ラグ部熱容量効果：配管サポート用ラグによって放熱する →ラグ付根部のみに影響ができるが効果小

二. 上記の検討結果を踏まえて、昭和56年1月に以下のとおり配管の保温強化、ヒータの改造及び熱電対取付位置の変更工事が実施された。

(保温強化)

オーバフロー戻り配管の安全容器貫通部及び遮蔽板部についてフィン効果による放熱を防止するために保温材を追加した。

(ヒータの改造)

熱応力が問題となる戻り配管の安全容器貫通部まわりのヒータについて温度制御性を良くするためにヒータを分割すると共に、熱応力が問題となる補強板まわりにヒータを追加した。また、煙突効果による冷却効果を抑制するため、垂直配管部に仕切り板を設置した。図3.2-4、図3.2-5に改造後のヒータ設置図を示す。

(熱電対位置の変更)

構造強度上特に問題となる安全容器貫通板部を中心として今後の評価検証用データを得るための温度監視用熱電対6本（M、N、O、P、Q、R）を追加し、

それまで使用していたB、C、F、G、H、Iの使用を中止した。図3.2-6に熱電対追加後の配置図を示す。

ホ. このような改造を終えた昭和56年3月に、配管温度挙動の測定を実施した。改造前との比較結果は以下のとおりであった。

- ・温態待機状態における挙動、原子炉出力50MWからのスクラム試験 結果からは保温の改造による降温率の低減は認められなかった。
- ・ヒータの強化により、配管の最低温度を30~40°C高めることが出来た。
- ・熱電対の配管への取付方法（パッド付、チップ付）による精度の差は無視しうることが確認できた。

④ 改造結果

オーバフロー系配管に生ずる熱衝撃は、運転手法の改善により防止することができたものの、根本的な問題である戻り配管の大きな降温率については原因の解明には至らず、今後の課題となった。

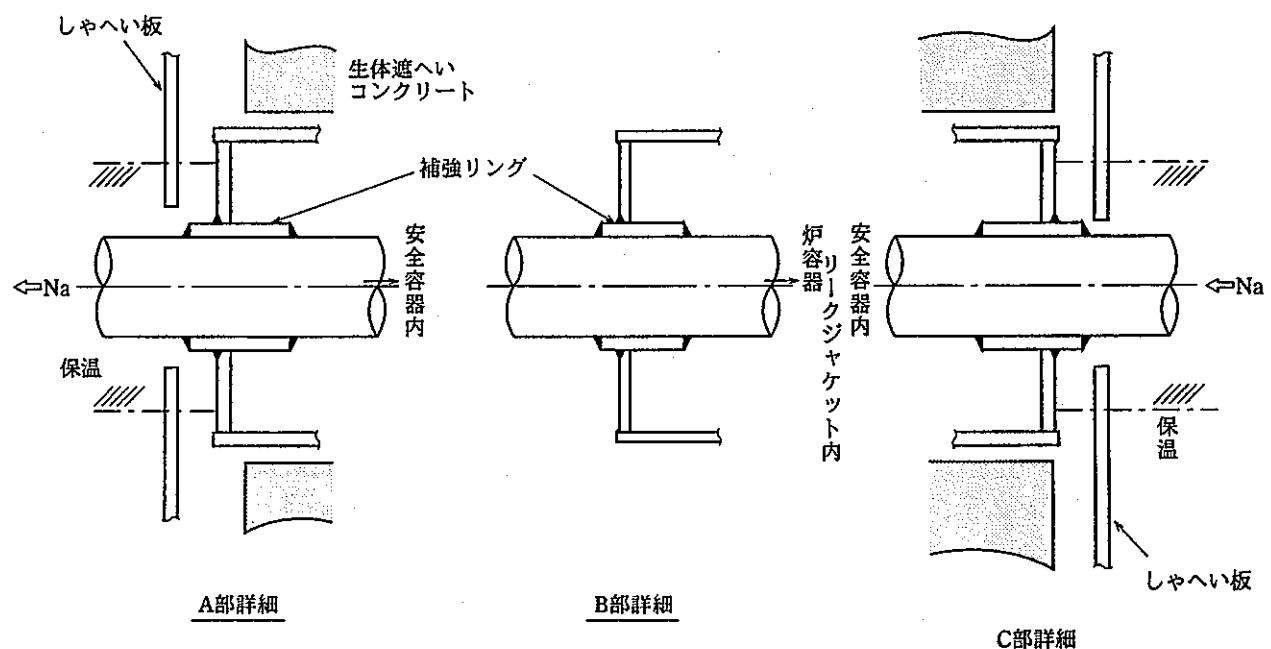
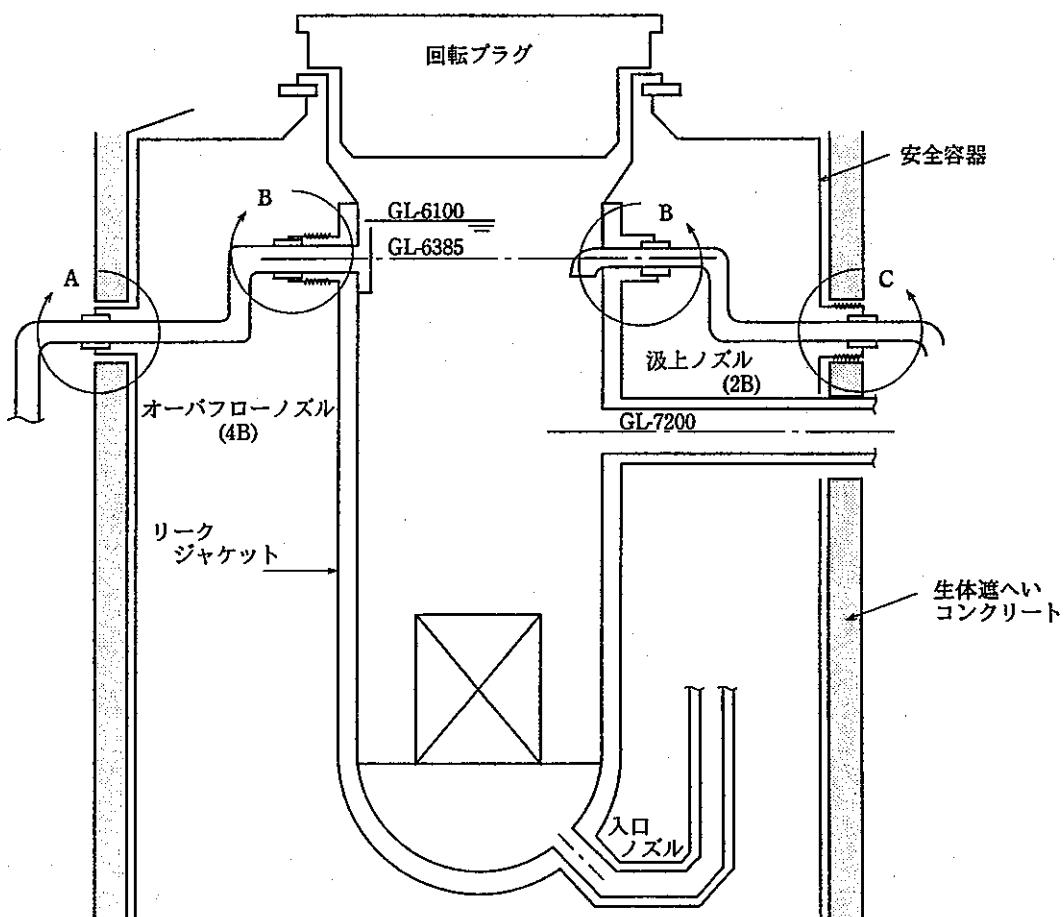


図3.2-2 オーバーフロー系配管安全容器貫通部概略図

注) 75MW第3サイクル時状況による。

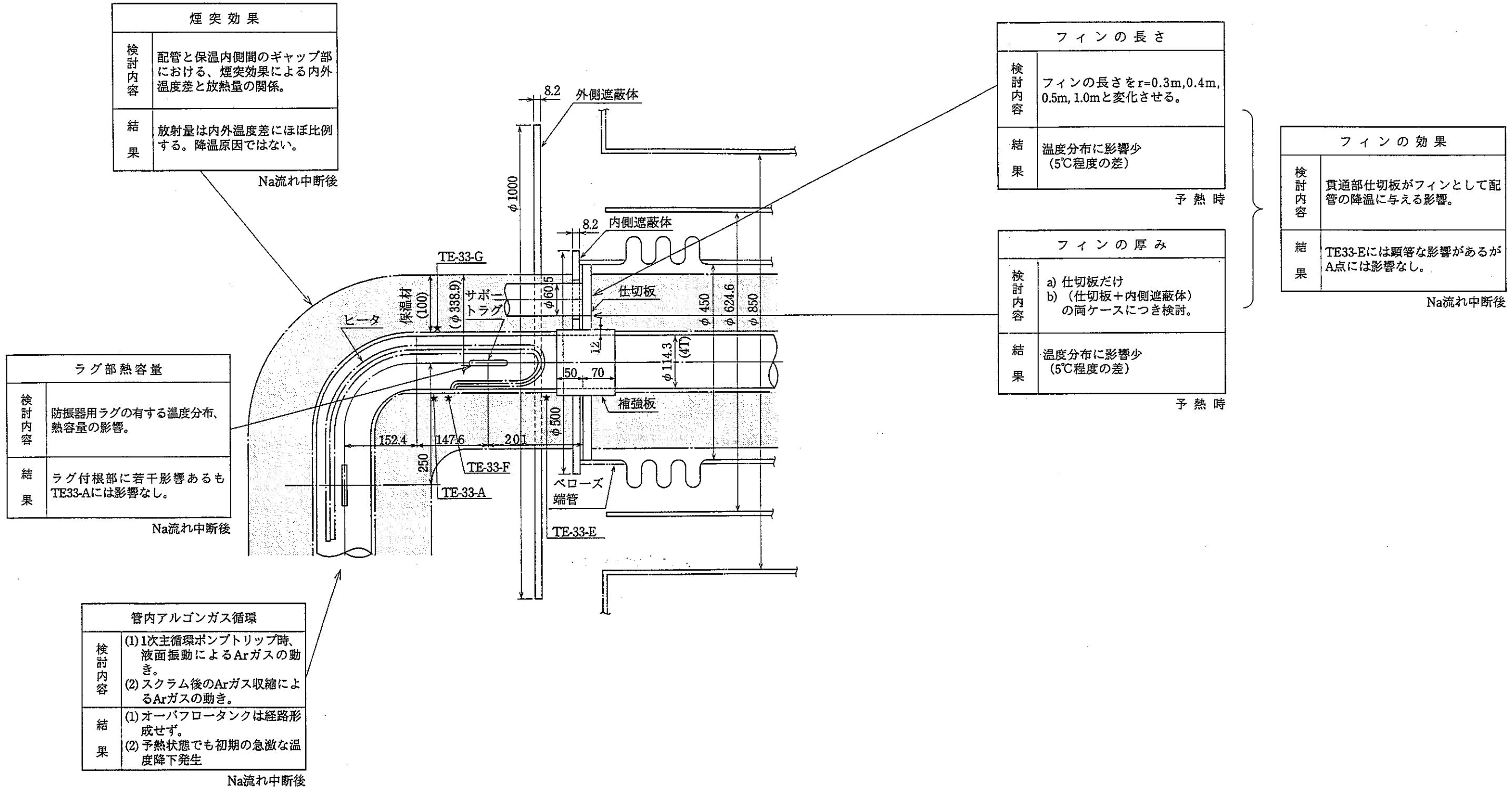


図3.2-3 配管冷却現象の要因検討まとめ図

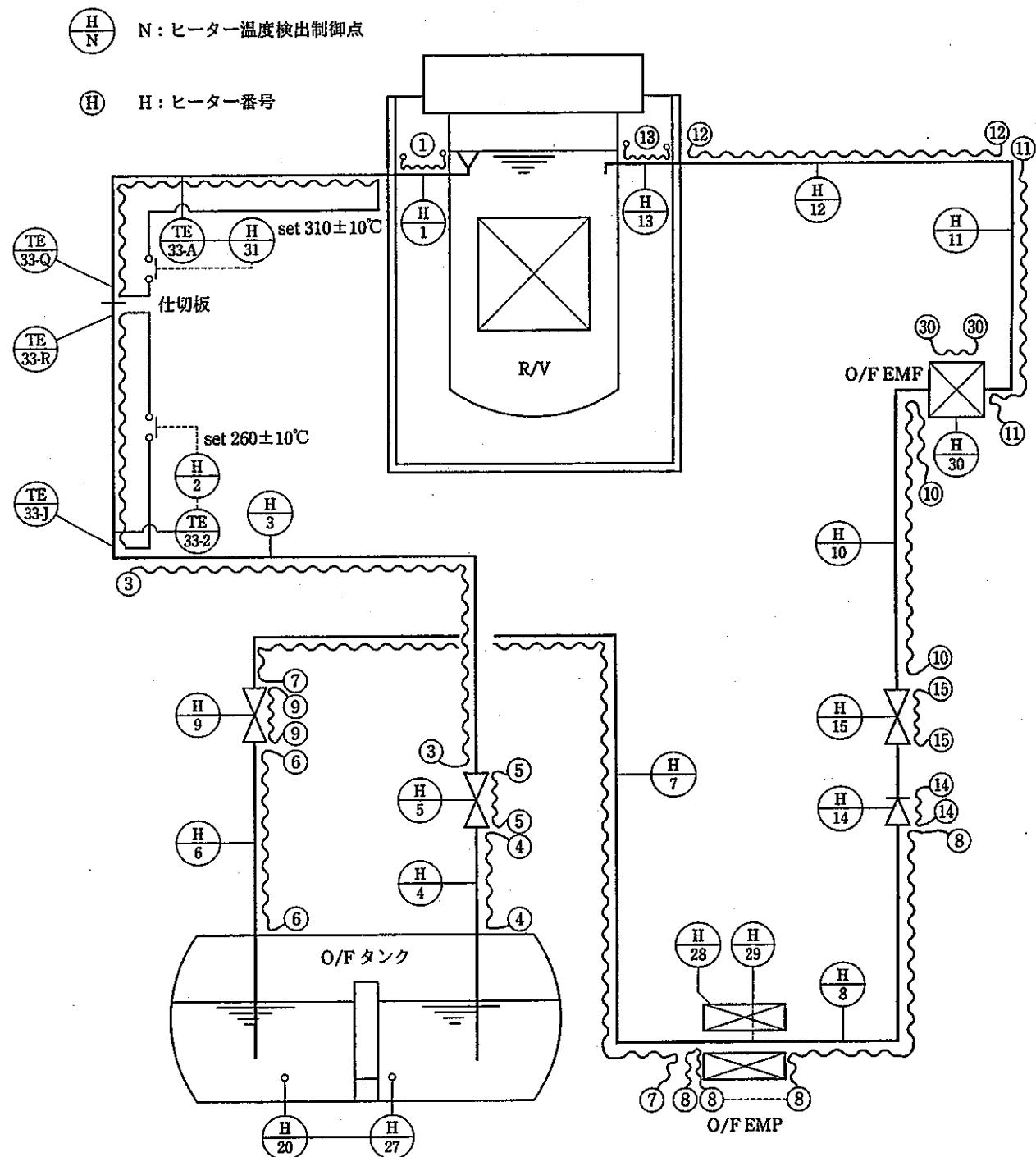


図3.2-4 配管ヒータ及び熱電対配置図

単位：mm

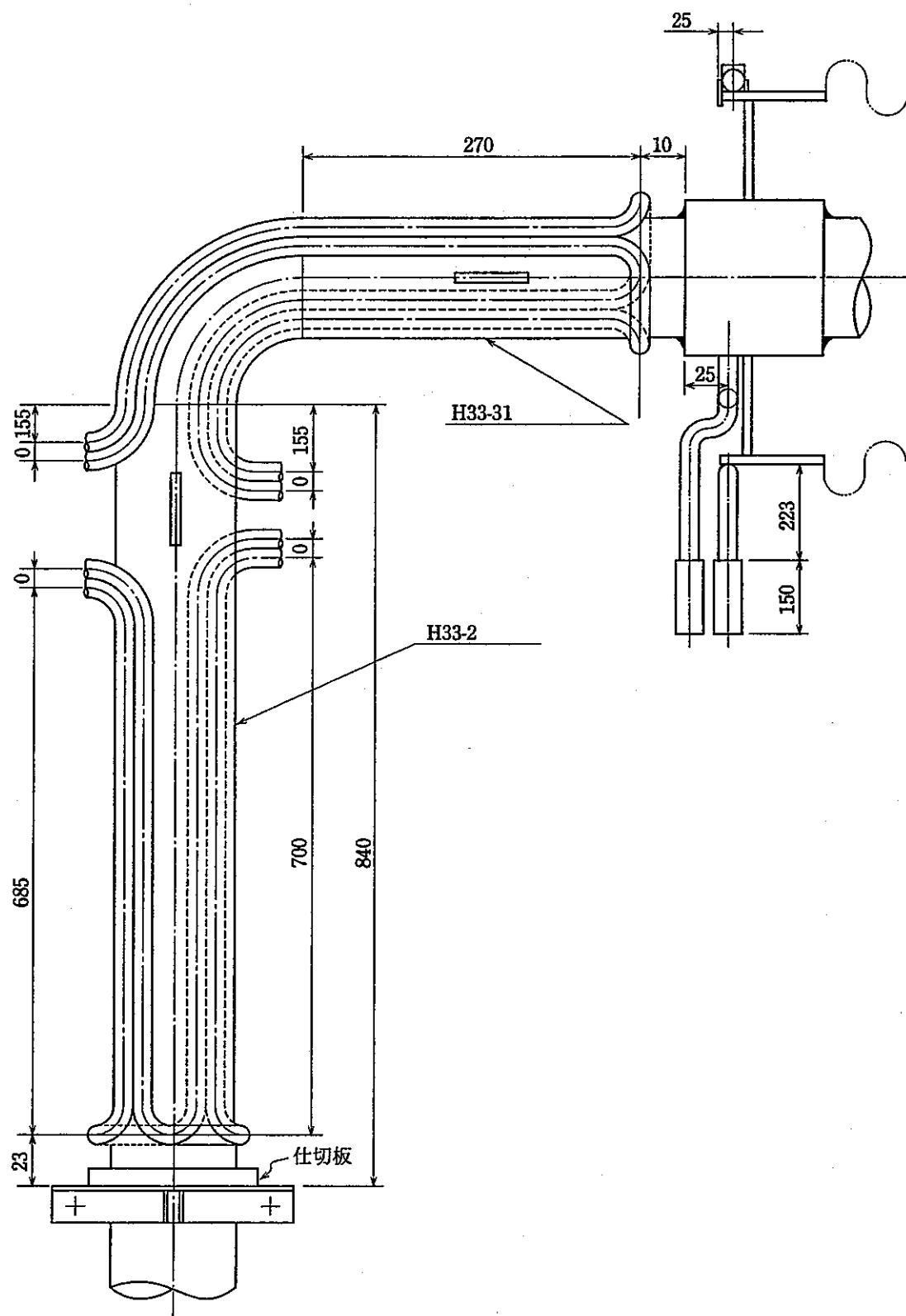


図3.2-5 オーバフロー系戻り配管ヒータ取付図

1984.5月現在

注)
TE33-B, C, F, G, H, I点はサーモカップルを現場に
残してあるが、中制までの配線を有していない。

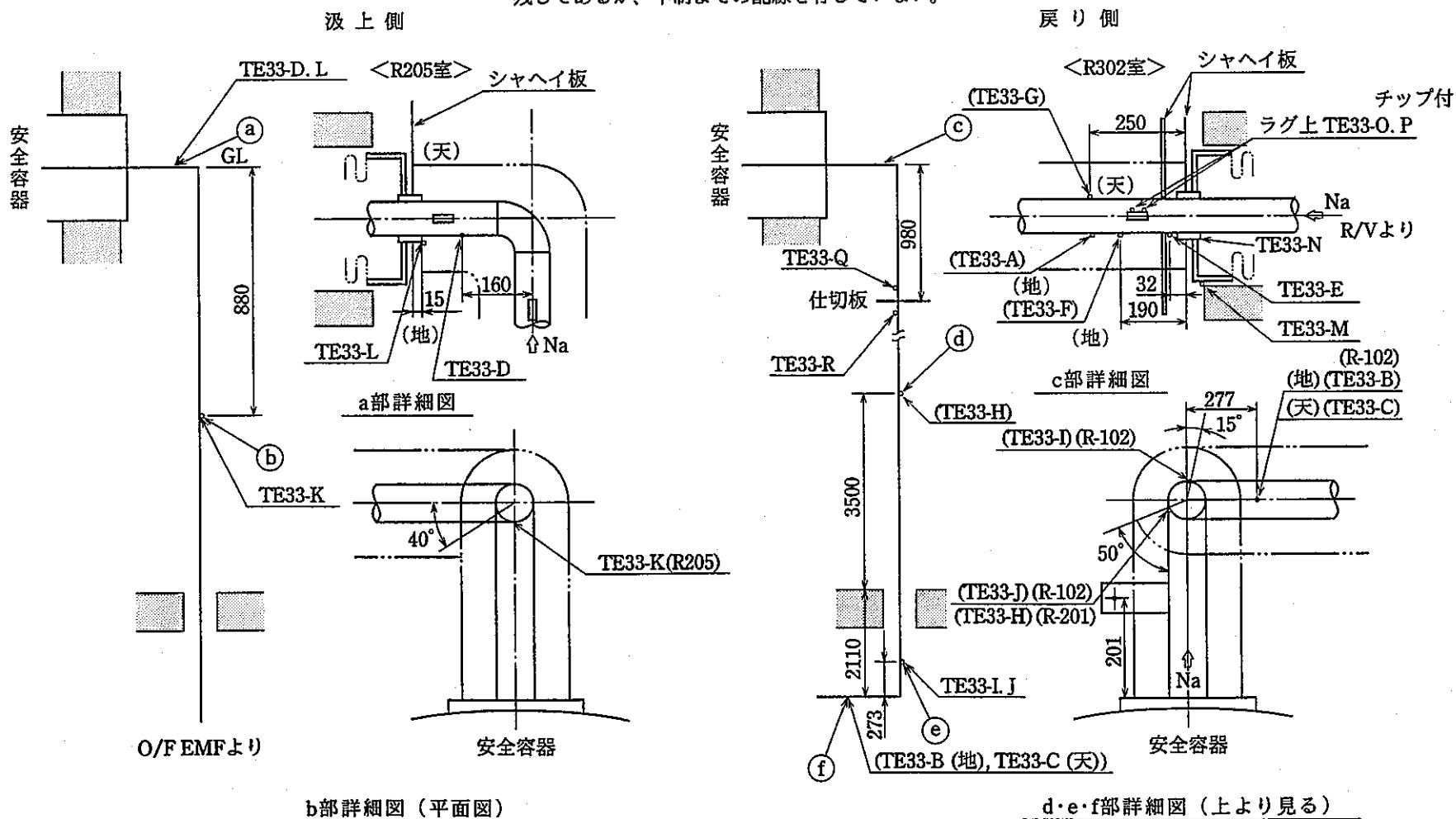


図3.2-6 配管温度測定用温度計の配置図（改造後）

4. 予熱電気ヒータの各種試験結果

予熱電気ヒータの各種試験は、「常陽」臨界前のナトリウム充填に際し行われた①機能試験と、主に臨界後に特性把握を目的とした②運転特性試験に大別される。ここでは今までに行われた試験結果を報告書、「常陽」系統設備機器詳細資料（SMD）、運転メモより抜粋し、その要旨をまとめて記載した。

4.1 総合機能試験

高速実験炉「常陽」の総合機能試験は、1975年1月から1977年3月にかけて実施した。

本試験では、①設計手法の検証②核入力のない条件でのプラント機能、性能、信頼性及び安全性の確認③運転操作、保守上の問題点の把握などを目的とした試験項目を定め、プラント状態の移行に伴って常温空気中試験、高温ガス中試験、ナトリウム中試験に分けて行った。

総合機能試験における1次予熱ヒータ性能試験は、部分試験（高温ガス中試験）、全体試験（予熱N₂ガス設備による）を行い、1次冷却系統全体をナトリウム充填に必要な温度までに加熱し保持できることを確認した。また、2次予熱ヒータ性能試験は、全体試験（高温ガス中試験）を行い、2次冷却系統全体をナトリウム充填に必要な温度までに加熱し保持できることを確認した。

4.1.1 1次予熱ヒータ性能試験

1次予熱ヒータ性能試験は、1975年6月から12月にかけて部分予熱試験を行い、1975年11月から1977年にかけて全体予熱試験を実施した。

部分予熱試験は、1次冷却系統をアルゴンガスで置換した後、機器、配管を系統毎に①予熱到達時間②保持時間の確認を行うとともに、ナトリウム充填に必要な温度（170～230°C）に加熱、保持できることを確認するものである。

(1) 1次系部分予熱試験

[ZN941 76-67 1次冷却系・1次系部分予熱試験]

1次系部分予熱試験は、(1/2) 及び (2/2)に分けられ、(1/2) は1次ナトリウム受入れ試験及び1次ナトリウム純化系試験に必要な1次純化系、充填ドレン系の予熱ヒータを対象にして行った。また、(2/2) は、主系統充填試験に必要な1次主系統、1次補助系統、オーバフロー系統の一部、アルゴンガス系統の予熱ヒータを対象にして行った。

試験結果及び工程は次のとおりである。

① 1次系部分予熱試験 (1/2)

[試験工程]

1975年 6月16日 15:00	メガーチェック
18:00	ヒータ電源投入
6月18日 11:00	全点170 ~230 °Cに到達
	72時間連続記録開始
6月20日 14:00	科学技術庁立会検査
6月21日 12:00	72時間連続記録終了

[試験結果]

ヒータ電源投入後40時間内に全測定点が170 ~230 °Cの制御範囲内に収まり、その後72時間経過後においても制御範囲内に保持できた。

温度保持中のヒータ制御状態は次の3タイプに分類される。

- イ. 170 ~230 °CでON、OFF制御しているもの。
- ロ. 170 ~230 °Cのある温度で飽和しているもの。
- ハ. 72時間内ではON、OFF制御の状態はみられないが、徐々に温度上昇となっているもの。

② 1次系部分予熱試験 (2/2)

[試験工程]

1975年11月27日 13:00	メガーチェック
12月 5日 18:00	ヒータ電源投入
12月 6日 4:00	全点170 ~230 °Cに到達
12月12日 11:00	科学技術庁立会検査
12月18日 10:00	72時間連続記録開始
12月21日 10:00	72時間連続記録終了

[試験結果]

ヒータ電源投入後10時間内に全測定点が170 ~230 °Cの制御範囲内に収まり、その後72時間経過後においても制御範囲内に保持できた。

温度保持中の制御状態は、1次系部分予熱試験(1/2)と同様3タイプに分類された。

(2) 1次系全体試験

[SN 941 79-207 「常陽」性能試験報告書]

1次系全体試験は、ナトリウム充填準備として系統のアルゴン置換及び予熱を行うとともに、1次系ナトリウム充填に先立って、高温状態における系統の機密性、機器の動作、変位、耐熱性、その他の性能を確認し、ナトリウム充填が可能であることを確認した。

予熱方法としては、原子炉容器、主循環ポンプを含む1次主配管は予熱N₂ガス系設備を用いて行った。

[試験結果]

炉容器外壁各部温度は、一定の上昇率で昇温され、運転に必要な各種データが蓄積された。詳細は本試験報告書(SN 941 79-207)を参照されたい。

4.1.2 2次系予熱試験

ZN 941 75-108 「2次系予熱試験報告書」

(1) 試験期間

1975年5月～6月

(2) 試験目的

本試験は、2次系予熱電気ヒータ設備により、2次冷却系の機器・配管を予熱目標温度(200±20°C)に到達させることができ、2次系へのNa充填が支障なく行えることを確認する目的で、次に示す3ケースの項目を設定して試験した。

① Phase I

Phase Iでは、全系統を120°Cに予熱して一旦保持し、確認及び調整を加えた上で200°Cまでの昇温を実施した。昇温後においては、予熱保持状態での電源異常やヒータ断線などを想定した降温状態の確認を行った。

② Phase II

Phase IIでは、室温から全系統200°C設定で昇温し、予熱時間及び温度が設計値を満足することを確認した。

③ 主、補助冷却器凍結防止試験

主、補助冷却器凍結防止試験は、冷却器用ヒータが冷却フィンへの直接加熱が不可能な構造であるため、冷却フィン部におけるNa凍結の懸念から実施したもので、冷却器ダンパを全閉状態で予熱し、Na凍結温度以上に温度保持できることを確認する目

的で試験した。

(3) 結 果

本試験により、2次冷却系のNa充填に必要な系統全体の予熱昇温及び予熱した状態での温度保持についての機能が確認でき、合わせて設計当時より懸念されていた、空気式冷却器でのNa凍結についても設備されたオープン型ヒータにより、凍結温度以上に保持できることが確認された。

試験全体を通して確認された結果、並びに改善項目を次にまとめて示す。

① 各種試験結果

ヒータ断線模擬試験は、2次系配管のうちの管径を異にする3種類の配管を選定し、それぞれに敷設されたヒータのうちの1本の電源を切ることによる降温特性を確認した。

その結果、12B管では24時間後においても100°C程度に保たれているが、2B管では2時間、1B管は1時間で100°Cを割り込んでしまう結果となった。このことはヒータ断線が生じた場合は細い管ほどNa凍結の危険性が大きいことを立証する結果となった。

電源断模擬試験は、系統全体が $200 \pm 20^\circ\text{C}$ の予熱保持状態から、全てのヒータ電源を切として温度低下の状況を各ヒータ毎に確認したものである。

各温度測定点での詳細は本報告書 (ZN941 75-108) を参照されたい。

② 改善点

各種試験の結果を反映し、次の箇所について改善した。

(保温強化箇所)

イ. ダンプタンク脚部

ロ. 主、補助冷却器の壁 (Naヘッダ側とその反対側の壁部分)

ハ. Naサンプリング装置ドア部

(手直し部分)

イ. 主冷却器ヒータの端子部分が高温となつたため、端子箱を放熱の良い穴あき板に変更した。

ロ. 主ポンプ(A)、(B)入口配管(SCI-131)ヒータの敷設位置が配管クランプ上となっていたためと、配管エルボー部分の側面に取り付けられていたため、放熱量が多く配管温度は135°Cで飽和に至つた。このため、配管クランプ部分

(注)
はクランプの下部に、エルボー部分は、管曲がり部の下面へヒータを移設させた。

ハ. ダンプタンクNa 供給系配管 (SC I -132) が配管サポート部分の放熱により、
150°Cで飽和に至った。このため、配管サポートを含めて保温した。

ニ. オーバフロー管 (SC II -97) の熱電対ウエル部分の保温不十分により、配管温度
は150°Cで飽和に至った。このため、ウエル部分の保温材充填強化を行った。

ホ. 格納容器内主配管 (SC II -042) は、R-408 室の扉を閉鎖すると、空調のパスが
変化し、配管貫通部が冷却パスとなり温度低下が生じたことから貫通部の配管ク
ランプの保温強化を行った。

注) 配管エルボー部分は、管曲がり部の下面へヒータを設置すると、ヒータと配管の熱
伸縮差による繰り返し応力でヒータ断線の恐れが大きくなることが、その後のR &
D施設での運転経験で確認されている。「常陽」では移設後特に異常は生じておら
ずヒータ取付け箇所の再変更は実施していない。

4.2 運転特性試験結果

「常陽」予熱ヒータの運転特性試験は、通常運転・保守時の運転、あるいは、異常時対応
運転の参考とするために行われた試験及び調査であり、ここでは、その主な試験・調査結果
の要旨をまとめて記載した。従って、その詳細な結果については各種試験結果を参照されたい。

尚、本試験・調査の結果は、その目的どおり各運転方法の参考として現在の運転マニュアルなどに反映されている。

4.2.1 保温材特性試験

S N 9 4 1 7 9 - 2 0 7 「「常陽」性能試験報告書」

(1) 試験期間

1978年10月～12月

(2) 試験目的

高速炉は軽水炉に比べて運転温度が高く、配管の熱膨張を考慮した配管の引き廻しを行
うため、配管が長くなり、表面積が増し、放熱量も大きくなる。そのため、適正な空
調設備容量を設計するための基礎資料が必要となる。

「常陽」の保温効果は総合機能試験（ナトリウム温度250 °C）で測定を行い、50MW運
転でも問題ないと評価が行われた。しかし、出力上昇試験時に系統のナトリウム温度

が上昇するにつれて、格納容器床下雰囲気温度、2次系ダンプタンク内温度等が設計と異なる挙動を示したことや、総合機能試験時に1次系ダンプタンクの保温の手直し等も行ったことから、今後の高温領域での運転に際し、再度保温材の性能を調査する必要が生じてきた。

本試験は、「常陽」の2次冷却系の主配管(12B)の一部を利用して、実機に使用されている保温材の特性測定及び曲管部の放散熱量などの測定を行ったものである。

尚、測定は50MW第1サイクル原子炉運転を利用して実施した。

(3) 試験結果

本試験において得られた知見としては、次のとおりである。

- ① 水平直管部での放散熱量、繊維質保温材(軟質成型品)及び粉末質保温材(硬質成型品)の熱伝導率は、ほぼ計算値及びカタログ値と一致しており、保温材の温度特性上の問題は無かった。
- ② 曲管部からの放散熱量が、直管部に比べて約50%程度多い結果が得られたが簡単な補修により十分低減する事が確認でき、曲管部の保温の施工は特に注意する必要があることを確認した。
- ③ ふく射熱低減のため、繊維質保温材の中間層にアルミ板を挿入した時の放散熱量はアルミ板なしの時に比べて、約5%の低下がみられた。
- ④ 熱電対用ウエル及び予熱ヒータ端子取付部の保温施工は比較的良好であった。

高速炉は運転温度が高いとはいえ、保温材の使用温度から分類すると中間領域であり、特殊な場所を除いては、従来の成型保温材が使用できる。

実機に使用されている保温材についても、特に高温における特異現象は認められなかった。従って、高速炉の保温も従来の技術と大きな違いはないが、配管の膨張・収縮が大きいので、これらが大きくなるような個所には、膨張・収縮を考慮した施工が重要である。

4.2.2 予熱ヒータ電源喪失試験

本項で示す予熱ヒータ電源喪失試験は、電源盤の点検あるいは異常時における系統の温度挙動を把握して今後の運転手法の参考とする目的で実施された試験と、電源盤点検を利用して許容保守時間の確認のために行われた調査結果をまとめたもので、運転メモから抜粋して記載した。

(1) ナトリウム充填時における試験

① 1 課メモ52-3134 S52.11.18実施

〔目的〕

予熱ヒータ電源設備の定検に先立ち、点検対象のC系統(1HC, 2HC)を停止した時の系統の温度変化を調査し、許容停電時間を推定した。

〔試験条件〕 1次主ポンプ：20%流量

1次補助系：停止（逆流状態）

オーバフロー系：通常運転

1次純化系：通常運転

1次予熱ヒータ：「冷却系Na充填」モード $200 \pm 10^\circ\text{C}$ 設定

2次主ポンプ：100%流量

2次補助系：通常運転（PL計 待機）

2次純化系：通常運転（PL計 待機）

2次予熱ヒータ： $250 \pm 10^\circ\text{C}$ 設定

上記のプラント状態において原子炉出入口温度が約 250°C で安定していること。

尚、1次・2次純化系と主ポンプ等のNaK圧力計用ヒータはOFFとしない。

〔試験結果〕

C系統のヒータを4時間停電させ、特にNaの流れている配管の温度降下を調査した。その結果を以下に示す。

イ. 1次、2次主冷却系は4時間で約 10°C 程度の温度降下であった。

従って、停電時間を10時間としても $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 程度の温度降下と推定でき、電源設備点検作業が実施可能であることが確認できた。

尚、サイホンブレイク電磁流量計については、約30分で温度低ANN(150°C)が発生し、1時間30分後に 130°C になって該当するヒータの投入を行ったことから、電源設備点検作業の実施において仮設電源が必要となることが判明

した。

ロ. 1次補助冷却系は4時間で約20~30°C程度の温度降下であった。

1次補助冷却系は停電時間が5時間程度の予定であるため、約30°Cの降下にとどまるが、サイホンブレイク弁が約1時間で温度低となり、2~3時間後には130°Cまで低下した。

ハ. オーバフロー系は電磁ポンプが運転されているため、汲み上げラインは温度変化は無かった。戻りラインは15°C/5Hrであった。

二. 2次補助系充填管、膨張タンクオーバフロー管は、充填弁の開度2%で充填管は20°C/5Hr、オーバフロー管は40°C/5Hrであった。

膨張タンクオーバフロー管については、温度降下が急であるが、系統の初期温度が250°Cであればフリーズの心配は少ない。

本系統においては、補助 IHX上部の温度が194°Cから1時間後に118°Cとなつた。補助 IHX出口のNa温度にさほど低下は見られないためフリーズの心配は少ないものの注意を要する。

ホ. 充填ドレン系は、1次、2次冷却系とも1~2時間で温度低となる。

5時間の停電ではフリーズするものと思われる。

ヘ. ガス系配管は、1次、2次冷却系とも1~2時間で温度低となる。

ト. 本試験におけるNa液面の変化は次のとおりであった。

炉容器：ヒータON-OFFで1.6cm変化した。

オーバフローカラム：温度降下で1.5~2.0cm上昇した。

(250°C→190 °C)

1次主ポンプ：温度降下で0.7cm上昇した。

オーバフロータンク：10.3cm低下した。(230°C→201 °C)

② 1課メモ56-7434 S56.8.11, 12 実施

〔目的〕

電源盤点検時の1次系及び2次系ヒータの電源停止機会を利用し、系統の降温データを取得した。

〔試験結果〕

ヒータ電源停止状態での点検は、系統温度250°Cにおいて約3時間以内として計画するのが妥当であることが確認できた。

尚、3時間以内であってもNaK圧力計まわりの温度は十分注意する必要がある。

図4.2-1、図4.2-2、図4.2-3、図4.2-4にそれぞれ系統温度降下実績を示す。

(2) ナトリウムドレン時における試験

1 課メモ58-2169 1984.2.22 実施

[目的]

電源盤点検において、2HC, 2HD パワーセンタを停止した。

2次系のNaがダンプタンクへドレン中であるため、Na貯留状態におけるタンクの降温データを取得した。

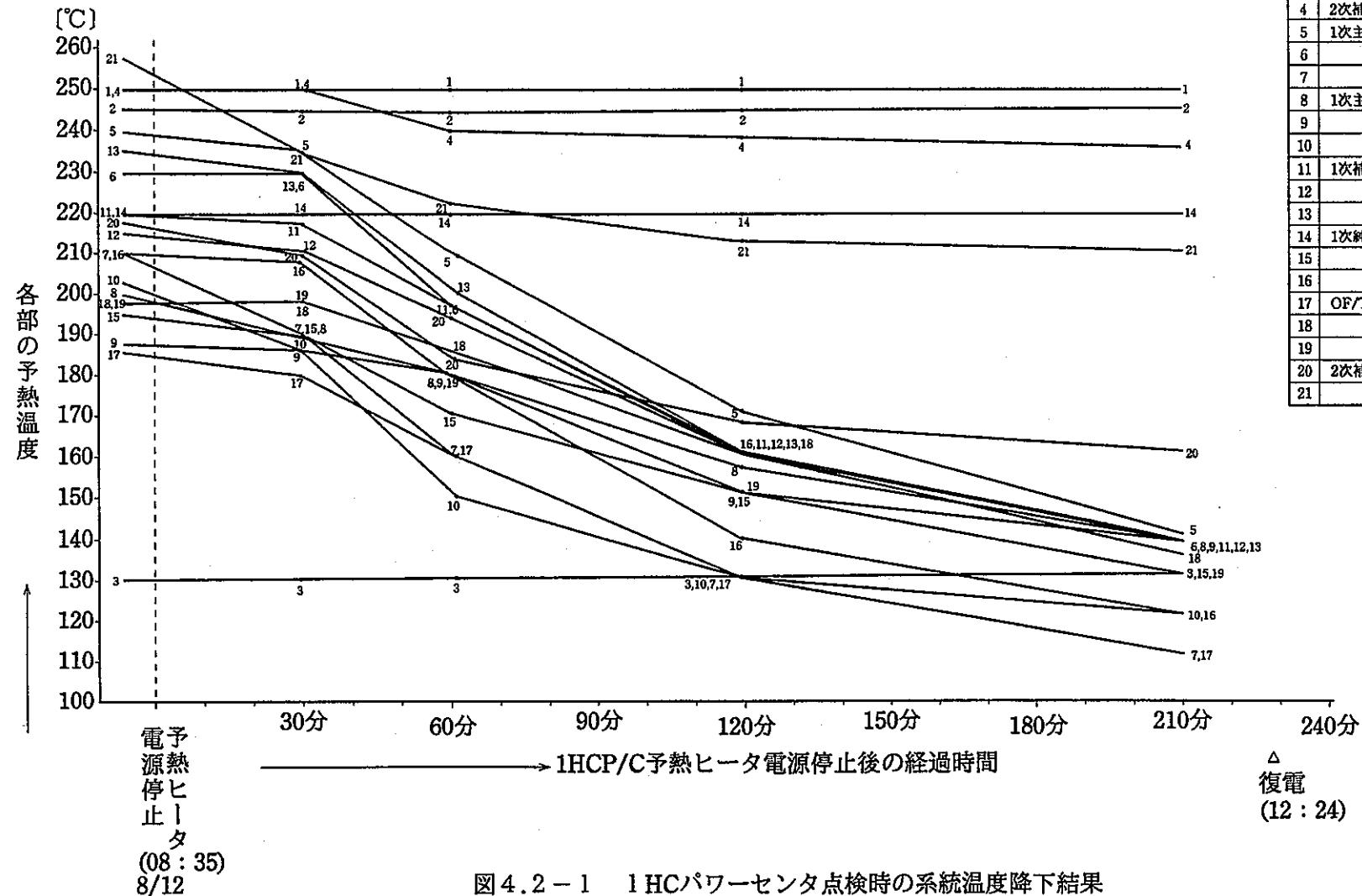
[試験経過及び結果]

1984年2月22日に2次予熱ヒータ分電盤点検が行われた。

2次冷却系はドレン状態であり、2HC, 2HD パワーセンタの停止に備え 2月21日19時32分にダンプタンクの予熱ヒータ設定温度を $220 \pm 10^\circ\text{C}$ から $250 \pm 10^\circ\text{C}$ に変更した。

2月22日9:30分に2HC, 2HD パワーセンタの停止とともにダンプタンク内Na温度は降下を開始したが、温度降下は $1 \sim 2^\circ\text{C}/\text{Hr}$ 程度であった。

図4.2-5に系統降温実績を示す。



NO	各部の温度検出名称
1	原子炉入口温度 Aループ
2	" Bループ
3	1次系C/T制御温度
4	2次補系A/C出口温度
5	1次主ポンプA圧力計(配管)
6	" (弁)
7	" (本体)
8	1次主ポンプB圧力計(配管)
9	" (弁)
10	" (本体)
11	1次補助EMP吐出圧力計(配管)
12	" (弁)
13	" (本体)
14	1次純化系EMP吐出圧力計(配管)
15	" (弁)
16	" (本体)
17	OF/T圧力計 (配管)
18	" (弁)
19	" (本体)
20	2次補助EMP入口圧力計
21	" 吐出圧力計

図 4.2-1 1 HCパワーセンタ点検時の系統温度降下結果

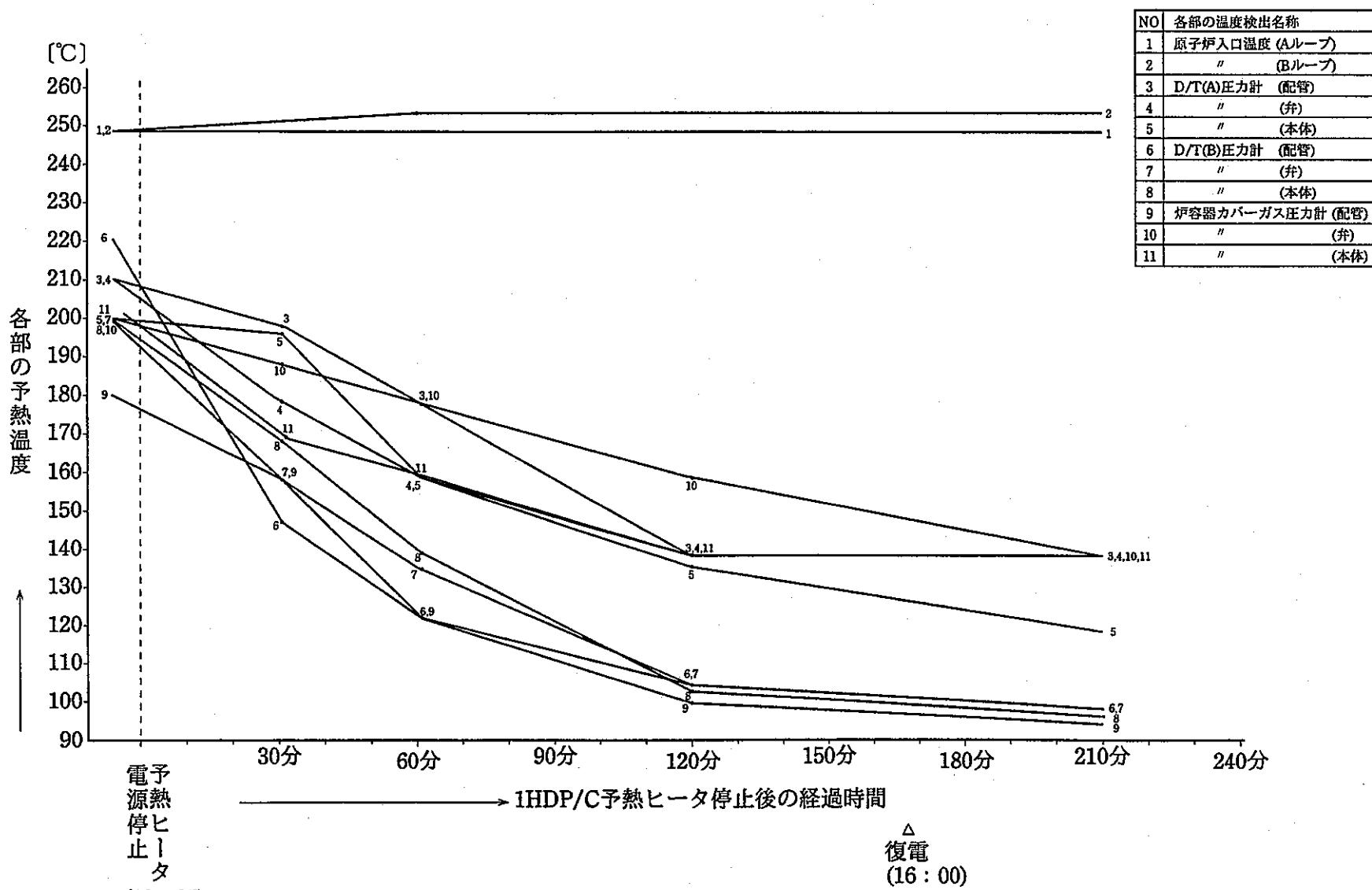
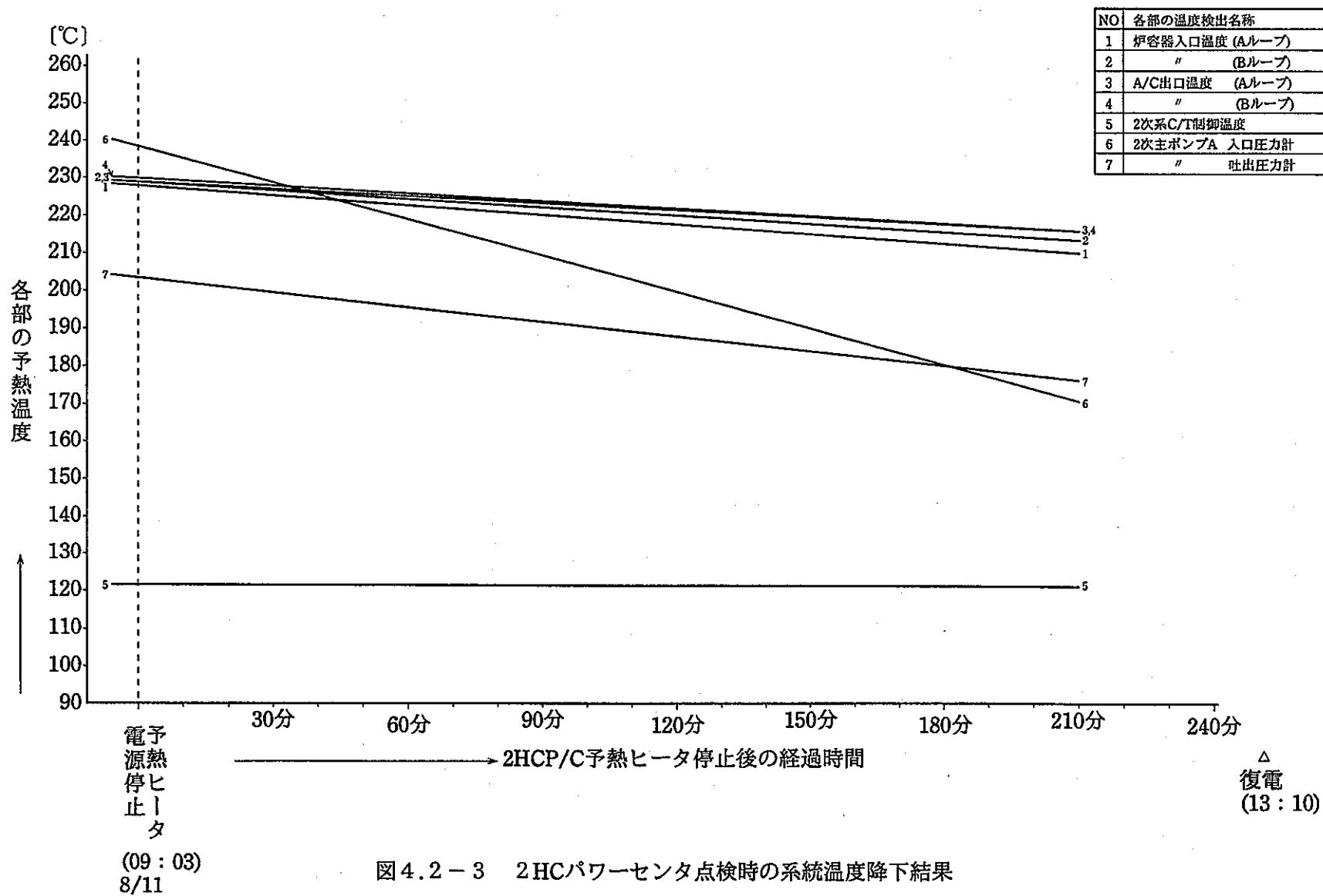


図 4.2-2 1 HDパワーセンタ点検時の系統温度降下結果



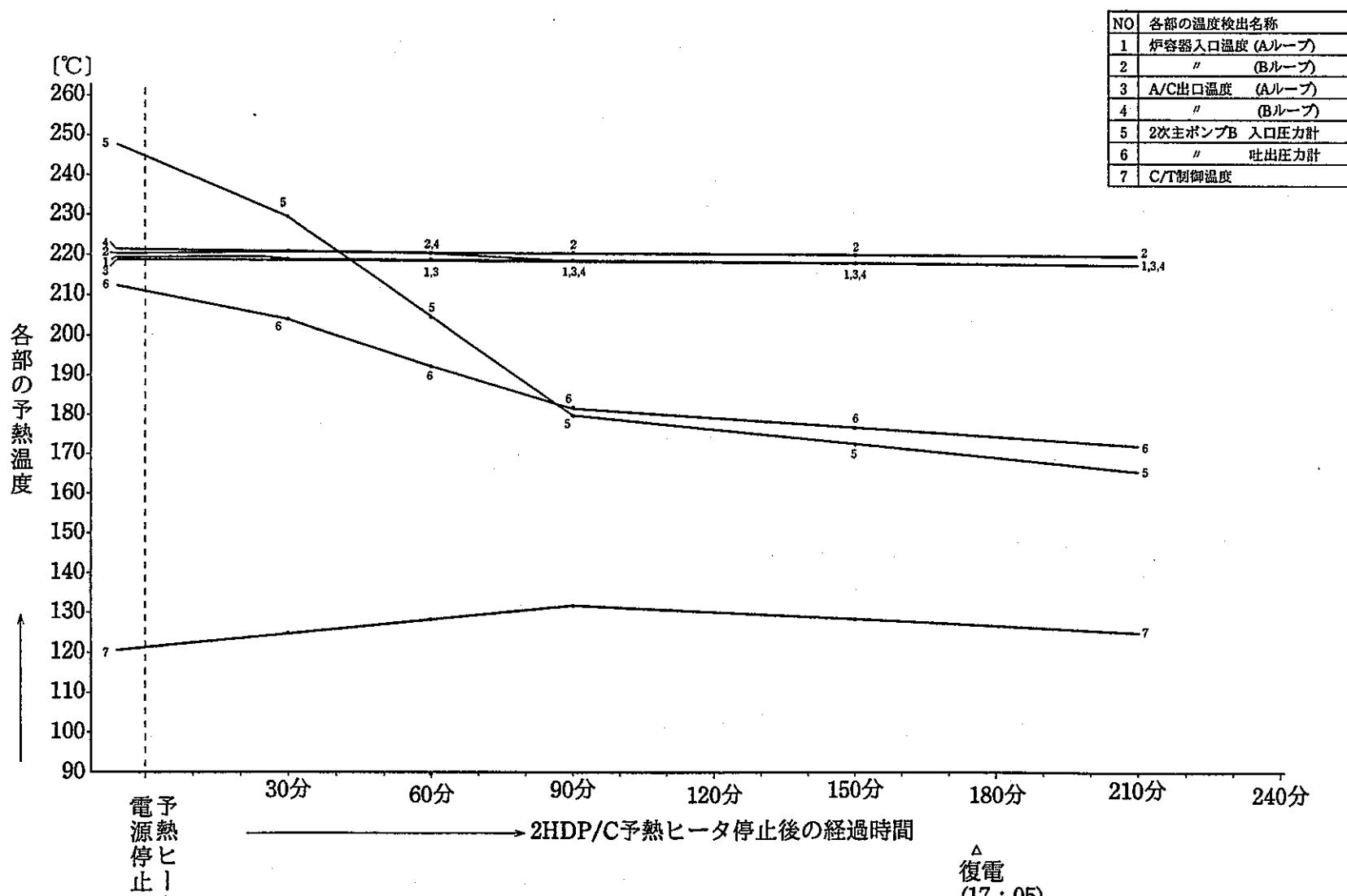


図4.2-4 2HDパワーセンタ点検時の系統温度降下結果

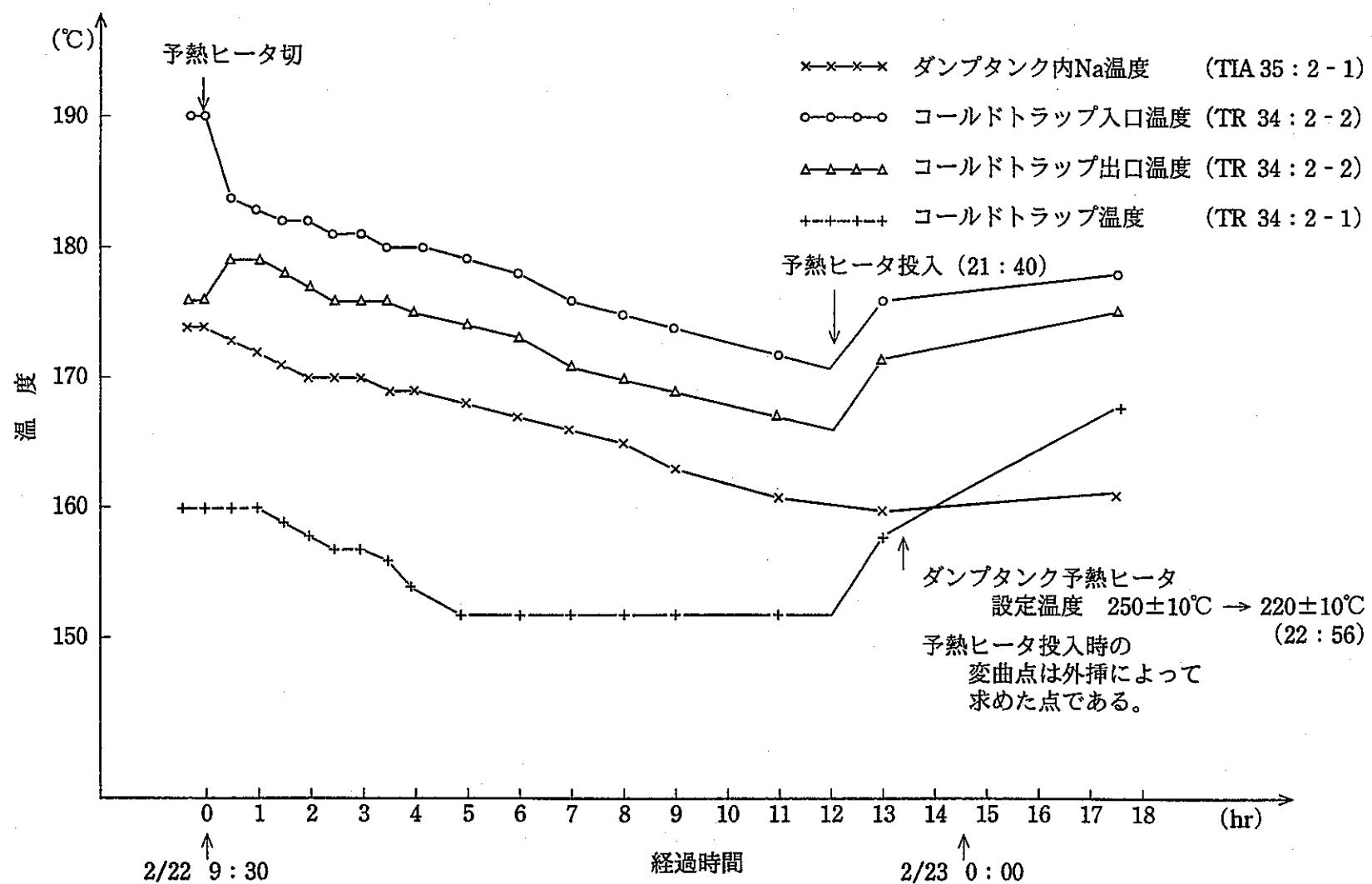


図4.2-5 2次系ヒータ停止時のコールドトラップ、ダンプタンクの温度低下

4.2.3 電力消費量の確認試験

「常陽」の運転経費に占めるヒータの割合は極めて高く、系統の動きにより変化する状況を定量的に把握することは、今後の運転費節減はもとより運転手法確立のために重要である。

本項は、これまでに行われた電力消費量の確認試験結果について、報告書または運転メモの要旨から抜粋してまとめたものである。

(1) プラント安定時の調査

S N 9 4 1 8 1 - 1 0 1

「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性（I）

—「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ電力消費量について—

① 調査期間

1980年3月～5月

② 調査目的

実験炉「常陽」の安定したプラント状態における1次・2次予熱ヒータ設備の消費電力量と稼動率を個々のヒータのON-OFF状態より求め、その調査結果から以下の項目について検討を行った。

- イ. 各系統の消費電力の特徴
- ロ. 季節による消費電力の比較
- ハ. 配管単位長さあたりの消費電力
- ニ. 箕口徑別における消費電力
- ホ. 配管設置場所における消費電力
- ヘ. Naの流れている配管と流れていない配管のヒータ挙動の比較

③ 調査結果

本調査・検討において得られた知見としては、次のとおりである。

- イ. プラント状態が変化してもアルゴンガス系、ナトリウムの流れの止まっている配管（例、充填ドレン系）では、ヒータ稼動率は一定である。
- ロ. ナトリウムが流れているか止まっているかによってヒータの挙動が違う。
ナトリウムが流れている時は、特定のヒータがONあるいはOFFの状態を維持し、流れがない場合はON-OFFすることがわかった。
- ハ. 夏と冬とでは、1次系に関しては消費電力はほぼ同じであったが、2次系に関し

ては大きく異なり、電力消費量で夏では357KWに対し冬では797KWである。

原因として考えられる事は空気冷却器からの放熱量で、内装ヒータの消費電力は夏が137KWに対して冬では420KWと大きい値を示している。

(2) プラント運転状態での調査

S N 9 4 1 8 1 - 1 0 7

「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性(II)

-「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ制御状態について-

① 調査期間

1980年3月～5月

② 調査目的

実験炉「常陽」の1次・2次予熱ヒータ設備の消費電力量を調査し、次の項目について評価した。

イ. 1次ダンプタンクヒータ投入及び切り時の変化

ロ. 1次主循環ポンプ流量変化による効果

ハ. 予熱ヒータ設定値変化による効果

ニ. 系統昇温、降温による効果

ホ. 原子炉停止時と75MW運転中との比較

ヘ. 定常状態における消費電力の比較

ト. 系統温度200°Cと250°Cとの比較

チ. 2次主循環系統Na充填時の消費電力

③ 試験結果

各調査項目毎の結果は報告書を参照されたい。

本調査において得られた知見としては、次のとおりである。

イ. 1次ダンプタンク昇温中は、ヒータ全数が「ON」状態であり、ヒータ温度がダンプタンク(A)65°C、(B)85°Cを超えた時点から徐々に「OFF」となる。

(ダンプタンク昇温前の温度は40～45°Cで制御設定を225±5°Cとした結果)

ロ. 1次主循環ポンプ(定格出力350KW)を運転することにより、全系統のヒータ消費電力は100KW程度減少する。減少した電力は空気冷却器、ダンプタンク内装ヒータで消費されており、配管ヒータはあまり影響されない。また、ポンプの流量変化の効果は、系統温度に顕著にあらわれる事が確認された。

ハ. 原子炉運転による系統昇温時は、昇温開始から1時間程度でほとんどのヒータが
きれる。

(3) 2次補助冷却系調査

S N 9 4 1 8 2 - 1 0

「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性(Ⅲ)

—2次補助冷却系予熱電気ヒータについて—

① 調査目的

S N レポート「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性(Ⅰ)では系統全体におけるヒータ消費電力量は冬季の場合夏季と比較して2倍程度となる。系統別にみると充填ドレン系・アルゴンガス系は季節によってあまり変化せず主系統の様に配管内にナトリウムが流れている系統では大巾に変化する事がわかった。

そこで、消費電力量が変化する理由を解明する為に、ナトリウムの流れがあり、独立した閉ループを作りやすい2次補助冷却系統を対象に、2次補助冷却器の放熱量及び内装ヒータの有効熱量の測定、2次補助電磁ポンプの系統への入熱の測定、配管・機器ヒータの有効熱量の測定等を行い検討を行った。

② 調査結果

上記調査・検討の過程において得られた知見としては、

イ. 2次補助冷却器の放熱は系統温度により大巾に影響を受ける。その値は系統温度200°Cで8KW、250°Cで18KWである。

ロ. 2次補助冷却器内装ヒータの有効に利用される熱量は発熱量の65%程度である。

ハ. 2次補助冷却系の配管や機器の放熱量は計算により求めた値より小さい値であった。

ニ. 配管や機器ヒータの有効に利用される熱量は発生熱量の65%程度である。

ホ. 2次補助電磁ポンプは、その電気入力に対し、65%程度が2次補助冷却系への入熱として期待できる。

ヘ. 充填ドレン系統配管ヒータの有効に利用される熱は発熱量の60~70%程度であり、2次補助冷却系ヒータと同程度である。

などであり、これらの結果から冬季、夏季における消費電力の違いは、ヒータの有効に利用される熱量の割合が発生熱量に対して65%程度であるため、少しの放熱量の変化が大きく消費電力に影響するものと思われる。

(4) 原子炉運転状態別の比較調査

S N 9 4 1 0 8 9 - 0 3 8 「電源設備運転経験」

① 目 的

1次・2次系予熱ヒータの消費電力量を、毎月の電力使用量確認結果を基に、原子炉100 MW運転中、停止中及び定検中に分けて相互に比較した。

② 結 果

イ. プラント全体の消費電力量は、原子炉100 MW運転中、停止中及び定検中でそれぞれ4460KW、3350KW、3000KWであった。

ロ. 1次系予熱ヒータの原子炉状態別の消費電力量(KW)は、下表のとおりである。

原子炉状態 電源系統	100MW 運転中	停 止 中	定 檢 中
1 H C, 1 H D パー セン	6 7 . 4	1 1 4 . 5	1 7 2 . 6

原子炉運転中と停止中での差は、原子炉停止により、予熱ヒータにて系統のNa温度を保持する温態待機モードへ移行したためのものである。

また、定検においては、主系統Naドレンのためのドレンライン配管メルト操作により負荷が増大している。

ハ. 2次系予熱ヒータの原子炉状態別の消費電力量(KW)は、下表のとおりである。

原子炉状態 電源系統	100MW 運転中	停 止 中	定 檢 中
2 H C, 2 H D パー セン	2 6 7 . 1	6 6 3 . 0	2 9 5 . 8

原子炉運転中と停止中での差は、1次予熱ヒータと同様、原子炉停止により予熱ヒータにて系統のNa温度保持を行っているためである。

また、定検において消費電力が少ない理由は、温態待機モード（温度250°C設定）からNa充填・ドレンモード（温度200 °C設定）へ変更したことと、主系統ドレンにより主系統のヒータを「切」としたためである。

ニ. 原子炉100 MW運転中の1次・2次系予熱ヒータの消費電力量(KW)を昼・夜に分けて次表に示す。

記録採取 日時 電源系統	S. 59 2月の 消費電力量	S. 60. 12. 30 夜: 22時30分	S. 61. 7. 11 昼: 16時45分	S. 61. 8. 19 夜: 5時30分
「常陽」 受電 合計	4,418.8 KW	4,123 KW	4,883.6 KW	4,123 KW
		3.24 KV	3.26 KV	3.24 KV
		0.79 KA	0.93 KA	0.79 KA
1 H C パワ- センタ	28.8 KW	20 KW		10 KW
1 H D パワ- センタ	38.6 KW	8 KW		18 KW
2 H C パワ- センタ	216.5 KW	260 KW	230 KW	240 KW
2 H D パワ- センタ	50.6 KW	42 KW	40 KW	50 KW

ホ. 原子炉停止中の1次・2次系予熱ヒータの消費電力量(KW)を次表に示す。

記録採取 日時 電源系統	S. 60. 11月の平均消費電力量		S. 60. 11. 28の消費電力量	
「常陽」 受電 合計	3,410.6 KW		3,600 KW	
	_____		3.19 KV	
	_____		0.70 KA	
1 H C パワ- センタ	74.3 KW	* 2.18 %	105 KW	* 2.92 %
1 H D パワ- センタ	40.2 KW	* 1.18 %	70 KW	* 1.94 %
2 H C パワ- センタ	389.8 KW	* 11.43 %	325 KW	* 9.03 %
2 H D パワ- センタ	273.2 KW	* 8.01 %	270 KW	* 7.05 %

*: 「常陽」受電合計に対する各パワ- センタ 使用割合を示す。

ヘ. 原子炉定検中の1次・2次系予熱ヒータの消費電力量(KW)を次表に示す。

記録日時 運転状態 電源系統	S. 61. 6. 20 1次系予熱ヒ ータ ドレンライ ンマルト 操作中	S. 60. 11. 28 2次系予熱ヒ ータ 設定 240 ±10°C	S. 61. 6. 29 2次系予熱ヒ ータ 設定変更 240 ±10°C→ 220 ±10°C	S. 61. 6. 29 2次系予熱ヒ ータ 設定変更 200 ±10°C→ 240 ±10°C
1 HC パワ- センタ	135 KW	105 KW	100 KW	145 KW
1 HD パワ- センタ	90 KW	70 KW	35 KW	35 KW
2 HC パワ- センタ	495 KW	325 KW	490 KW	520 KW
2 HD パワ- センタ	325 KW	270 KW	280 KW	460 KW
1HC, 1HD 合計	225 KW	175 KW	135 KW	180 KW
2HC, 2HD 合計	820 KW	595 KW	770 KW	980 KW
予熱ヒータ合計	1,045 KW	770 KW	905 KW	1,160 KW

定検中における消費電力は、定検作業内容、プラント状態 (Naドレン状態か否か) などによって大きく変動するため、上表は主系統にNaが充填された状態での結果をまとめたものである。

ト. プラント状態別による1次・2次系予熱ヒータの消費電力量(KW)を次表に示す。

電源系統名	原子炉100運転中		原子炉停止中		定検中の 使用電力KW
	使用電力KW	全体の割合	使用電力KW	全体の割合	
1HC, 1HD	28~67	0.6 ~1.5%	114 ~175	3.4 ~4.9%	135 ~225
2HC, 2HD	267~296	6.0 ~6.6%	595 ~663	16.5~19.4%	475 ~980
ヒータ合計	295~363	6.6 ~8.1%	709 ~838	20 ~24%	655 ~1,160

表に示すとおり、原子炉プラントの運転状態により予熱ヒータの消費電力は大きく変化する。

「常陽」全体で使用する電力量に対する予熱ヒータの割合は、100MW 運転中は8%程度であるが、停止中は24%に達する。さらに、定検時においては、プラント状態により大幅に変動するが最大で約40%ともなる。

(5) 2次主ポンプ低流量運転による予熱ヒータ消費電力量の調査

1課メモ 63-3330

① 期 間

1987年7月4日～7月14日

② 目的及び方法

2次主ポンプを定格流量から低流量で運転することにより、2次予熱ヒータの電力消費量の低減が可能かどうかについて調査した。

調査時のプラント状態としては、ポンプ入熱減少による予熱ヒータ電力の増加分を正確に把握する必要があるため、以下のとおりとした。

イ. 1次系N aがドレン中である機会に実施し1次系との熱伝達を遮断する。

ロ. 2次補助充填弁を閉止し2次補助系統との熱伝達を遮断する。

ハ. 2次予熱制御を200°Cのポイント制御運転とし、温度制御幅を少なく、出来る限り同一の測定条件を作成する。

③ 結 果

調査の結果、下表に示すとおり2次主ポンプを低流量（定格の約40%）にすることにより逆に電力消費量は30.3Kw/hの増加となり、2次主ポンプの低流量運転による省エネルギー効果は期待できないことが判明した。

(Kw/h)

区 分	運転状態	定 格 運 転	低 流 量 運 転	定 格 - 低 流 量
ポンプ電力消費量		2 7 0 . 0	6 6 . 4	- 2 0 3 . 6
2次予熱ヒータ電力消費量		2 4 8 . 4	6 6 2 . 3	2 3 3 . 9
合 計		6 9 8 . 4	7 2 8 . 7	3 0 . 3

5. 予熱ヒータの特殊な運用

過去の運転経験から、予熱ヒータの制御設定温度等の変更により処置した特殊な運用経験実績を記述する。

5.1 オーバフロー系配管熱衝撃対策によるヒータの運用

1 課メモ 元-1420

(1) 概要

1次系Na充填に伴うオーバフロー系汲み上げ操作のため、オーバフロー電磁ポンプ起動温度条件を確認したところ、汲み上げ配管の安全容器貫通部付近の温度検出点（以下L点という）が低く、起動条件（ダンプタンクNa温度とL点の温度差が60°C以内）を満足しない事象が発生した。

このため、電磁ポンプ起動に先立ち行ったダンプタンク及び汲み上げ配管ラインのヒータ設定温度変更による起動条件成立手法についてまとめた。図5.1-1及び図5.1-2にそれぞれオーバフロー系汲み上げ、戻り配管の鳥瞰図を示す。

(2) 経緯

オーバフロー系の配管は、安全容器貫通部の放熱が大きく、50MW性能試験以降にも保温の強化や温度検出点追加などの改善を実施してきた経緯がある。

今回のNaドレン状態におけるL点の温度は、約125°Cであり、電磁ポンプ起動条件を成立させるためには、ダンプタンクを185°C以下とするか、あるいはL点の温度を上昇させる必要があった。しかしながら、①L点は前述のとおりの放熱が大きいことや、ヒータ用温度コントローラの検出点から遠くはなれていることで、目標温度に達するまでにヒータが切れてしまう②ヒータ用温度コントローラの設定温度を上昇させた場合、同一配管で温度差が大きくなる。③Na充填状態でのダンプタンクの降温時間が1日5°C程度である。などから起動条件成立のための操作を選択する必要があった。

(3) 操作内容

操作前温度状態は次のとおりであった。

12/20 ダンプタンクA : 207°C (設定温度225°C)

L点温度 : 約125°C(125~130°C)

ΔT : 77°C (起動条件ΔT < 60°C)

① ダンプタンク A の降温のため、予熱ヒータ H35. 1-116 ~130 の設定温度を 225 °C から変更した。

(本操作により、6 日後のダンプタンク A の温度は 175°C となった。)

② ダンプタンク内 Na 温度とオーバフロー系配管との温度差をできる限り少なくするため、配管ヒータ H33. 1-3, 11, 14, 15, 30, 31 の温度設定を 260°C ± 10°C から 200 ± 10°C に変更した。(配管ヒータ H33. 1-28, 29, 13, 1, 2 については、それぞれ 200°C 近傍で温度飽和していたため変更しなかった。)

これにより、変更箇所の温度は数時間後に 200 ± 10°C で安定した。L 点用のヒータ H33. 1-12 は他の配管の温度低下の影響で投入状態となったが L 点温度の降下防止のため設定温度は変更しなかった。

③ H33. 1-12 が投入状態保持となったことにより、L 点の温度が約 130°C から 141°C に上昇するとともに D 点も上昇し、230°C から 278°C となった。

④ D 点の温度とダンプタンク A の温度との差が約 100°C となり起動条件を逸脱したため、H33. 1-12 (L 点、D 点共通のヒータ) を切とした。

⑤ L 点と D 点の降温率 (L 点 -0.2°C/分, D 点 -0.8°C/分) の違いにより 1 時間後に起動条件を満足することが出来た。

図 5. 1 - 3 に電磁ポンプ起動条件成立のための操作と配管の温度状態を示す。

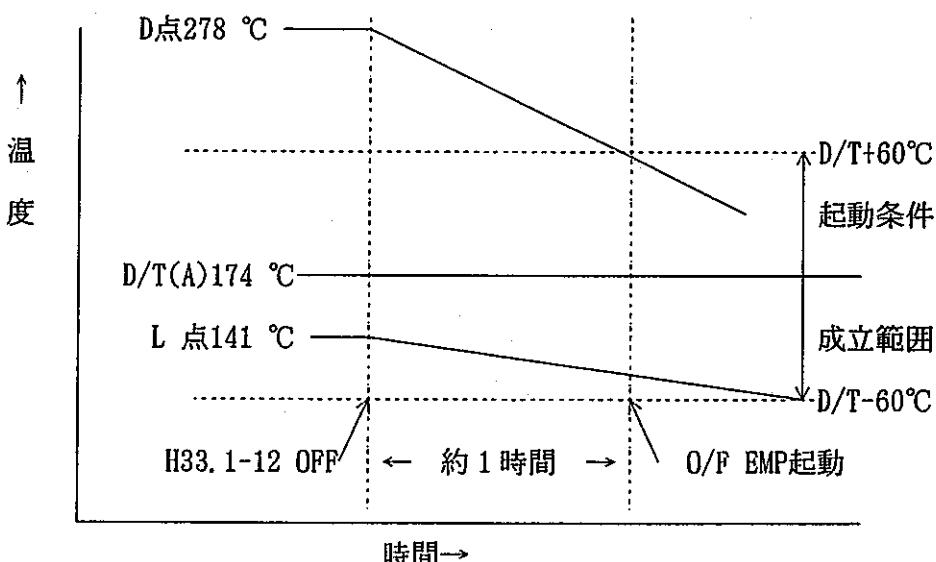


図 5. 1 - 3 電磁ポンプ起動条件成立のための操作と配管の温度

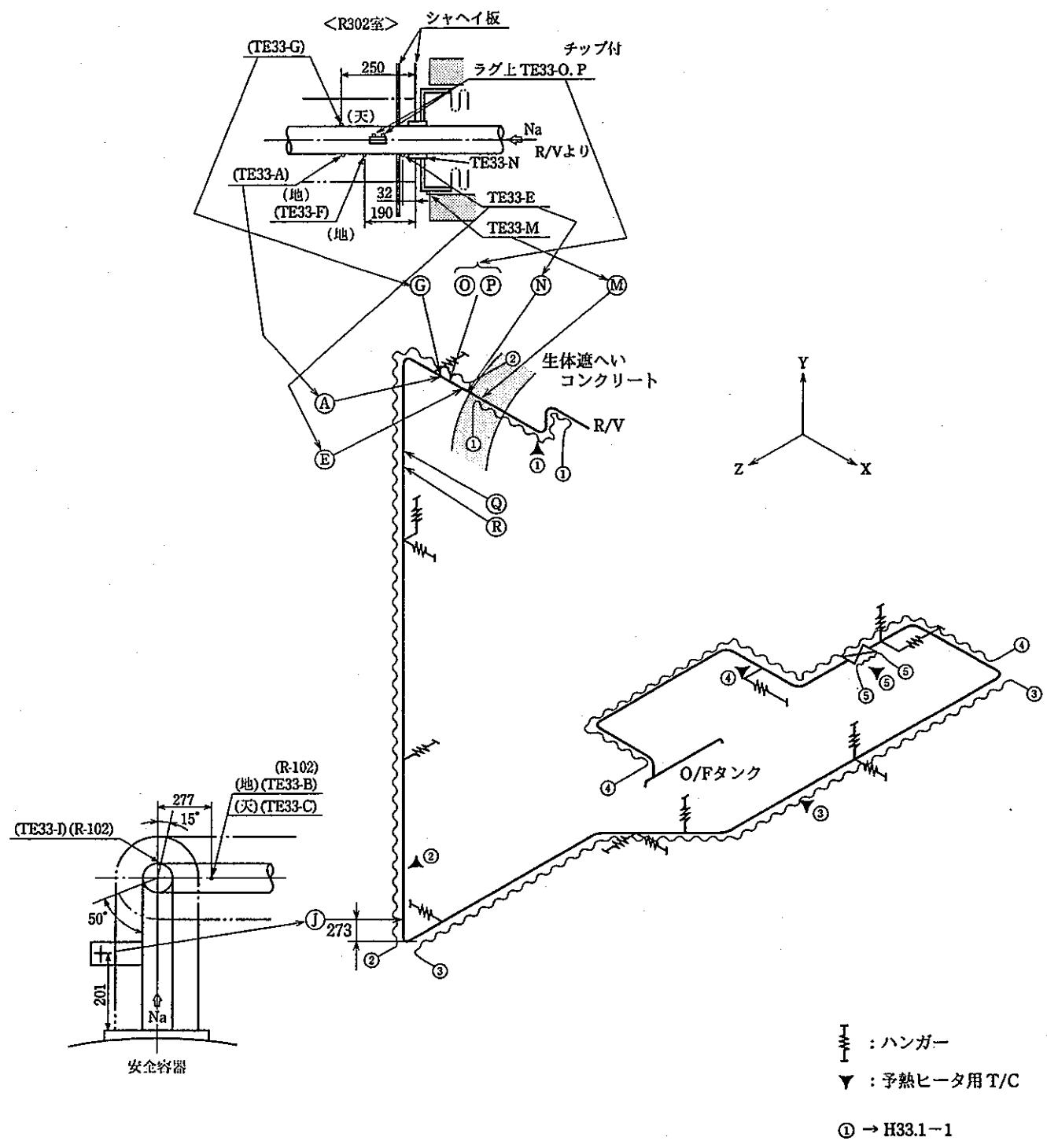


図 5.1-1 オーバフロー系予熱ヒータ温度検出点（戻り配管）

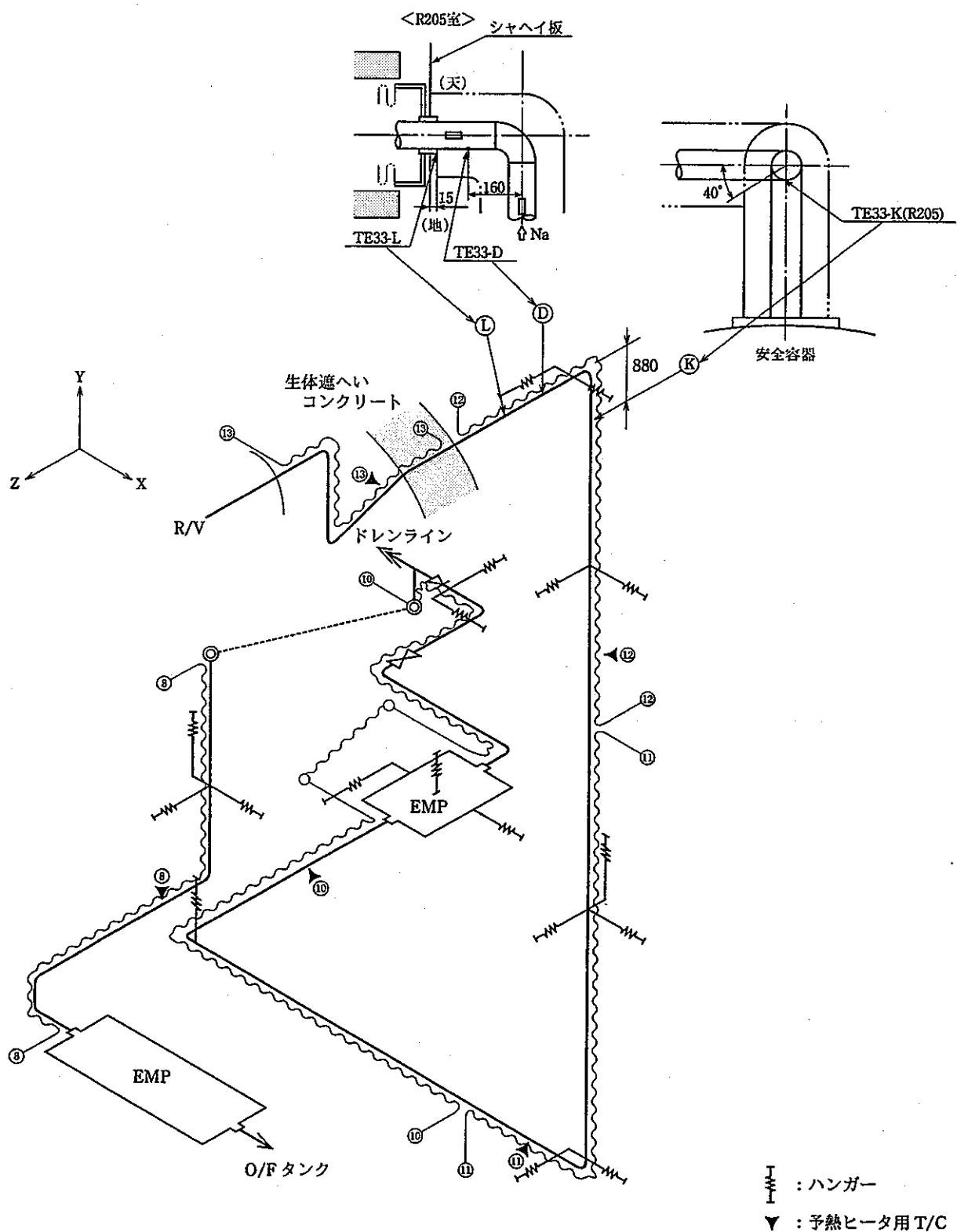


図 5.1-2 オーバフロー系予熱ヒータ温度検出点（汲上げ配管）

5.2 2次系Na ドレン時の主IHX ドレンラインフリーズ経験

1課メモ 63-3346, 3350

(1) 経緯

昭和63年10月7日から開始した2次主系統のNa ドレン作業において、主IHXから電磁流量計出口までのドレンラインでNa 閉塞が発生した。（図5.2-1に主IHX ドレンライン閉塞時のNa 残留状態図を示す。）

主IHX ドレンラインは、特に格納容器貫通部付近での温度降下が大きく、総合機能試験においても同様の閉塞を経験し、作業時の予熱ヒータの温度設定の変更（250 → 250 °C）や、保温強化対策を実施した経緯がある。

本閉塞事象においては、予熱ヒータの設定温度変更（250 → 250 °C）、ヒータの制御切替え（「自動」→ 強制「入」）、及びヒータ電圧設定器（スライダック）の出力増加操作（一時的に160 → 180V）により、格納容器貫通部温度が330°Cまで上昇した時点でダンプタンクの液位変化が確認された。

(2) 閉塞時の措置と結果

スライダックの設定電圧は、電圧が高いほど上限設定温度への到達が早くなるが、低い場合は到達に時間を要する。さらに低い場合、あるいは、放熱が大きすぎる箇所については、ヒータの投入状態が継続しても上限温度設定値に達すること無く低めで飽和する傾向がある。このような場合、スライダックの昇圧操作により飽和温度の上昇が実現する。

主IHX ドレンラインの格納容器貫通部は、過去にもドレン操作前の準備としてヒータ設定温度の変更とともに、スライダック設定電圧の昇圧（格納容器貫通部スライダックNa 10を150Vにする）を実施した経緯がある。

今回は、閉塞時の操作でスライダックNa 10を一時的に160Vから180Vへの昇圧を実施した。その結果、30分後に液位変化が確認された。この時の貫通部はヒータSC II-134, 135が強制「入」状態、スライダックNa 10が160V設定で約310°Cの飽和状態であったものが、180Vとした時点で温度上昇を開始し、約330°Cに達した時点でドレン開始を確認した。

(3) 主IHX ドレンライン閉塞防止のためのヒータの運用

今回の主IHX ドレンライン閉塞経験を基に、今後のヒータ運用方法を次のとおり見直した。

① 2次予熱ヒータ制御について

2次予熱ヒータの制御温度は、原子炉運転中、停止中、メンテナンス中など、そのブ

ラント状態に応じた運転モードへの変更により設定される。

本事象発生時における予熱ヒータの運転モードは、"Na 充填・ドレン"であり、主系統とともに主 IHX ドレン系についても $200 \pm 20^{\circ}\text{C}$ の温度制御で運転していた。

主 IHX ドレンラインは上記モード以外は、 $250 \pm 20^{\circ}\text{C}$ で制御されており、温態待機モードから Na 充填・ドレンモードへの変更により、フリーズしやすい状況であったものと推定できる。従って、本経験を踏まえて、主 IHX ドレンラインのヒータ設定温度は、全てのモードで常時 $250 \pm 20^{\circ}\text{C}$ で運用することとした。

② ヒータ電圧設定器設定電圧について

ヒータスライダック設定値を調査したところ、現設定値が運転操作マニュアルの系統編（OMS）、系統設備機器詳細資料などに示された値と一致していないことが判明したため、主 IHX ドレンラインの予熱ヒータ（図 5.2-2 参照）に該当するスライダックの設定電圧を、表 5.2-1 に示す OMS 記載の値 ($250 \pm 20^{\circ}\text{C}$) に変更した。尚、OMS 記載値以上の設定値となっていたスライダックに関しては、過去の運転実績から設定された可能性もあるため変更は見送った。

表 5.2-1 主 IHX ドレンラインヒータスライダックの設定値

	OMS の値 (V)	現在の設定値 (V) * 印加電圧	設定変更後 (V)	該当ヒータ 番号全て SC II
SD-3	200	195 * 195	195	105, 106
SD-4	200	140 * 130	200	107, 108
SD-5	200	160 * 155	200	109, 110
SD-6	30	20 * 32	30	112 ~ 116
SD-8	100	125 * 105	125	111, 124 ~ 129
SD-9	100	100 * 90	100	130 ~ 132
SD-10	200	160 * 160	200	134, 135
SD-11	100	120 * 115	120	136 ~ 140
SD-15	200	155 * 150	200	117, 121, 133

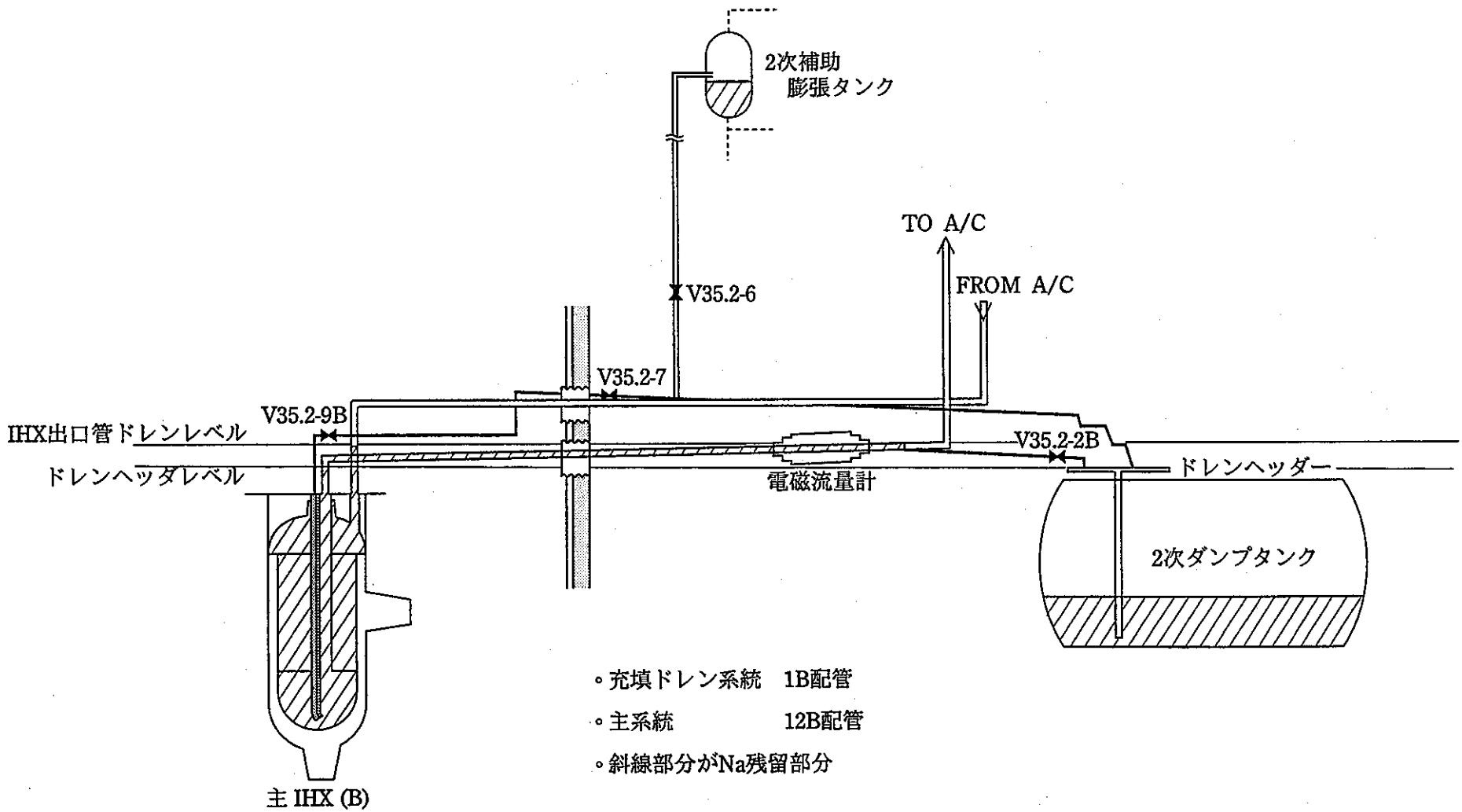


図 5.2-1 主IHXドレンライン閉塞時のNa滞留状態図

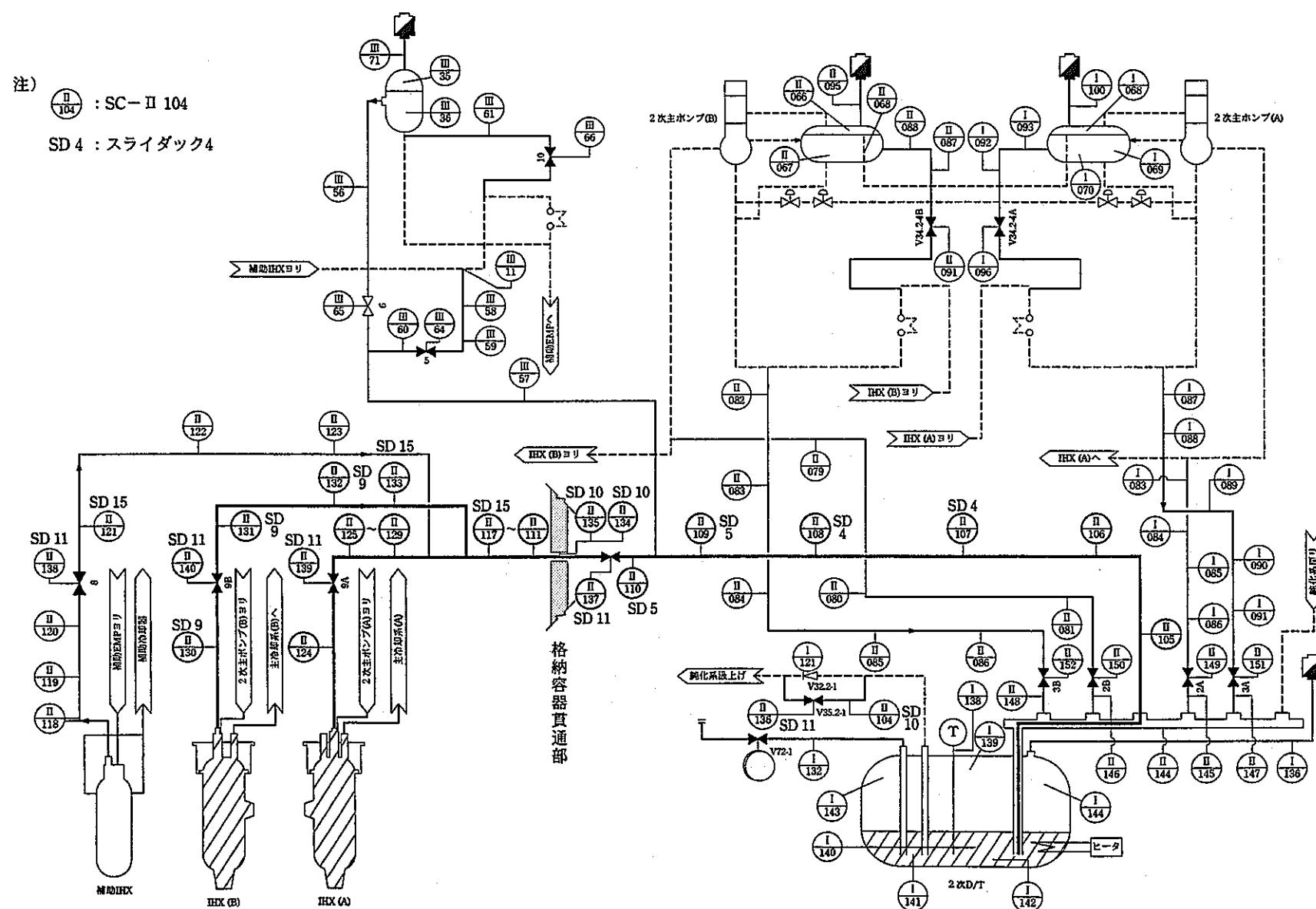


図 5.2-2 2次系格納容器貫通部付近の予熱温度検出点

5.3 アイソレーション発生時のAr カバーガス系負圧防止対策

異常時運転マニュアル (EPO-20-03)

(1) 概 要

アイソレーション発生時に、Ar カバーガス供給系隔離弁が閉止して系統が熱収縮により負圧となることを防止する措置として、フリーズ状態にある1次系ダンプタンクを昇圧し、タンク内カバーガスの熱膨張を利用したAr カバーガス系へのガス供給手法がとられる。

尚、本手法は今までアイソレーションに至る異常経験がないため、実際の運用実績はない。

(2) 方 法

1次系カバーガス圧力が負圧になる恐れがある場合以下の操作を行う。

- ① ダンプタンク A (又はB) のNa温度が70°C以下であることを確認する。
- ② ダンプタンク A (又はB) の予熱ヒータ設定を次のとおり変更する。
 - ・ダンプタンク A (又はB) Na 温度 + 10 °C
 - ・制御範囲 ± 5 °C
 - ・ヒータアドレス ダンプタンク A : TICS H35.1-116~130
(ダンプタンク B : TICS H35.1-131~145)
- ③ TICS H35.1-116~130 (B : TICS H35.1-131~145)のトグルスイッチをONとして各ヒータが投入されることを確認する。
- ④ ダンプタンク温度が上昇し、カバーガス圧力が回復することを確認する。
- ⑤ 効果が少ない場合はヒータ設定を 10 °Cステップで上昇させる。

(3) 備 考

- ① ダンプタンク予熱ヒータ「切」後15~20日はダンプタンクNa 温度が降下傾向にある。(ダンプタンクNaレベル約90cm時) この期間にアイソレーションが発生した場合、Arカバーガス系が負圧となる恐れは大きい。
- ② ダンプタンク 1基のArガス温度が10°C上昇するとカバーガス圧力は約200mmAq上昇する。
- ③ ダンプタンクNa 温度が90°Cまで上昇すると溶解潜熱のため昇温できなくなる。
(ダンプタンクNa レベル約90cm時Na メルトに24時間を要す) このため、ガス温度の昇温もにぶり効果が少なくなる。

6. 考 察

「常陽」の予熱ヒータ設備は、設置以来18年以上にわたる運転を継続してきた。この間、多くの運転・保守・改善、或いは、試験経験などが報告書、メモ類により有形化されている。報告書・メモ及びこれまでの補修経験を基に、次の様な技術的知見を得た。

予熱電気ヒータは

- ① 予熱窒素ガス設備に比べて、操作そのものは簡便であり効率も良い。
- ② ヒータ自身の断線はないが、ターミナル部などの絶縁抵抗の劣化対策が必要である。
「常陽」では、2次予熱ヒータシース材質の変更及び加工方法の改善を経験した。
- ③ 大型機器や垂直配管の温度制御が難しい。これは、保温材、支持機構の取付け方法または取付け状態と密接に関係する。
- ④ 機器や配管の温度制御点の位置や、その取付け方法は十分検討する必要がある。特に格納容器貫通部、曲管部は保温材の敷設状態により放散熱量が大きく変化するため注意を要する。
- ⑤ 制御系に多くの基板やリレーなどが使用されており、湿度、ほこり等の影響により故障頻度が増加する。制御設備の設置環境は維持管理上重要な要素である。
- ⑥ プラント状態の相違により、その消費電力が著しく変化する。「常陽」全使用電力に占める割合としては、原子炉運転中は数%であるが定検中では30~40%に増加する。
- ⑦ 昭和62年に2次系ヒータ制御系に関して、プラント各種試験での精度向上のために、主系統の温度変化を少なくする新制御方式（ポイント制御方式）を付加し、現在も安定した制御状態で運用している。
尚、本方式移行に伴い、接触器動作回数の増加による短寿命化が懸念されているが、現在のところその兆候は認められていない。
- ⑧ ヒータ点検・補修において、その都度保温材の交換や充填、温度検出点の再固定等を実施している。その状況としては、長年の使用による保温材隙間の発生などが認められている。今後とも補修時などを利用し、十分その状況を把握し、適切な処置を施していく必要があると考える。

7. 結 言

高速実験炉「常陽」の予熱電気ヒータ設備はこれまで系統Na 初期充填のための昇温試験、充填後のNa温度保持や昇温状態確認などの特性試験を経て、50MW、75MW及び100MW での原子炉出力運転上大きな問題も無く順調な運転を継続してきた。この間には経年変化に伴う更新や、予防保全の観点から計画的な保守・補修或いは操作性向上のための改善が実施され、原子炉の安全・安定運転に寄与している。

本報告書はこれまでに発行された運転経験や保守・補修実績を記した技術資料を総括的に編集したものであり、今後の「常陽」の運転・保守技術向上の一助として幅広く活用されれば幸いである。

8. 参考文献

本報告書は以下の報告書、課内メモ、操作マニュアルを参考とした。

- (1) PNC SN941 83-128 高速実験炉「常陽」第3回定検報告書
- (2) PNC SN941 88-053 高速実験炉「常陽」第6回定検報告書
- (3) PNC I9410 89-012 「2次主冷却系新型予熱ヒータ制御装置の運転特性」
- (4) PNC SN941 85-27 「1次オーバフロー系の運転経験報告書」
- (5) PNC ZN941 75-108 「2次系予熱試験報告書」
- (6) PNC ZN941 76-67 「1次冷却系・1次系部分予熱試験」
- (7) PNC SN941 79-207 高速実験炉「常陽」性能試験報告書
- (8) PNC SN941 81-101 高速実験炉「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性(I)
- (9) PNC SN941 81-107 高速実験炉「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性(II)
- (10) PNC SN941 82-10 高速実験炉「常陽」1次・2次予熱電気ヒータ運転特性(III)
- (11) PNC SN9410 89-038 高速実験炉「常陽」電源設備運転報告書
- (12) 原子炉2課モ 03-77 2次冷却系予熱ヒータの保守履歴
- (13) 原子炉1課モ 63-3342 2次予熱ヒータ制御系・制御方式別運転状態比較調査
- (14) 原子炉1課モ 62-3291 2次予熱ヒータ制御装置に関する改善希望の調査報告
- (15) 原子炉1課モ 52-3134 予熱ヒータ電源喪失試験結果
- (16) 原子炉1課モ 56-7434 予熱ヒータ停止時の温度効果経験
- (17) 原子炉1課モ 58-2169 2次予熱ヒータ電源喪失時の温度降下経験
- (18) 原子炉1課モ 63-3330 2次主循環ポンプ低流量運転による省エネ効果の確認結果
- (19) 原子炉1課モ 1-1420 1次Na充填に伴うO/F 電磁ポンプ起動のための予熱ヒータ 設定
変更
- (20) 原子炉1課モ 63-3346、63-3350 2次系Na ドレン時のIHX ドレンラインフリー経験
- (21) 異常時運転マニュアル EPO-20-03 アイソレーション作動