

JAERI - M  
89-070

BWRプラントの動特性解析コード  
BWRDYNの使用マニュアル

1989年6月

横林 正雄・吉田 一雄・藤木 和男

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1989

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 いばらき印刷㈱

BWR プラントの動特性解析コード BWRDYN の使用マニュアル

日本原子力研究所東海研究所原子炉安全工学部  
横林 正雄・吉田 一雄・藤木 和男

(1989年5月16日受理)

BWRDYNコードは、BWRプラントの動特性解析を目的に開発されたもので、運転モードの変更や機器の故障等小幅から大幅な外乱までを計算対象としている。

本コードの主要な解析モデルについては、既に実炉の実測データを用いた検証が行われてその妥当性が確認されている。その後さらに、タービン・復水器系の解析モデルの組み込み等の改良がなされ、これらの機器系に起因する外乱が原子炉に及ぼす効果についても解析可能となった。

本報告書は、BWRDYNコードの解析モデルの概要及びコードの使用法について説明したものである。

BWR Plant Dynamic Analysis Code

BWRDYN

User's Manual

Masao YOKOBAYASHI, Kazuo YOSHIDA and Kazuo FUJIKI

Department of Reactor Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 16, 1989)

Computer code BWRDYN has been developed for thermal-hydraulic analysis of a BWR plant. It can analyze the various types of transient caused by not only small but also large disturbances such as operating mode changes and/or system malfunctions.

The verification of main analytical models of the BWRDYN code has been performed with measured data of actual BWR plant. Furthermore, the installation of BOP (Balance of Plant) model has made it possible to analyze the effect of BOP on reactor system.

This report describes on analytical models and instructions for user of the BWRDYN code.

Keywords : BWRDYN Code, BWR Plant, Transient Behavior, BOP Model

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 1次系の解析モデル .....	5
2.1 中性子動特性 .....	5
2.2 核熱出力 .....	5
2.3 燃料温度 .....	5
2.4 炉心熱水力特性 .....	7
2.4.1 流量配分 .....	7
2.4.2 チャンネル領域 .....	7
2.4.3 冷却材の流速が遅い場合のチャンネル飽和領域の取扱い .....	8
2.4.4 炉心漏洩領域 .....	9
2.4.5 滞溜水領域の取扱い .....	10
2.5 炉心上部プレナム熱水力特性 .....	11
2.6 セパレータ熱水力特性 .....	13
2.7 ドーム部熱水力特性 .....	16
2.8 ベッセル飽和水領域熱水力特性 .....	17
2.9 ダウンカマ、再循環系及び炉心下部プレナム熱特性 .....	19
2.9.1 ジェットポンプがある場合 .....	19
2.9.2 ジェットポンプがない場合 .....	20
2.9.3 ダウンカマ及び下部プレナムの熱水力モデル .....	21
2.10 冷却材水力学特性 .....	22
2.10.1 ジェットポンプがある場合 .....	22
2.10.2 ジェットポンプがない場合 .....	24
2.10.3 ポンプトリップ時の動特性 .....	24
2.10.4 再循環流量制御系 .....	25
2.11 蒸気系統動特性 .....	25
2.11.1 原子炉ベッセルより流出する蒸気流量 .....	25
2.11.2 主蒸気管による圧力降下 .....	26
2.11.3 主蒸気管部の動特性 .....	26
2.11.4 タービン蒸気流量と圧力制御系 .....	27
2.11.5 タービンバイパス弁蒸気流量 .....	27
2.11.6 逃し弁及び安全弁の流量 .....	28
2.11.7 隔離用（非常用）復水器 .....	28
2.12 給水系統動特性 .....	28
2.12.1 原子炉給水制御系 .....	28

2.12.2	原子炉給水エンタルピ	28
2.13	燃料棒に対する熱的余裕の評価	29
2.14	自然循環状態での炉内冷却水逆流モデル	29
3.	2次系の解析モデル	31
3.1	タービン系モデル	31
3.1.1	抽気蒸気流量	31
3.1.2	タービン・発電機出力	32
3.2	湿分分離器モデル	32
3.3	主復水器モデル	33
3.4	給水ヒータモデル	34
4.	数値解法	39
4.1	初期値の計算法	39
4.2	各領域の流量、圧力及び体積変化率の計算法	39
4.3	主なサブルーチン	43
5.	コード使用法	48
5.1	1次系の入力データ	48
5.2	2次系の入力データ	62
	参考文献	73
	付 録 入力出力例	74

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Analytical Model for Primary System .....	5
2.1 Neutron Kinetics .....	5
2.2 Nuclear and Thermal Power .....	5
2.3 Fuel Temperature .....	5
2.4 Thermal-Hydraulic Models in Core Region .....	7
2.4.1 Flow Distribution .....	7
2.4.2 Thermal-Hydraulics in Channels .....	7
2.4.3 Slip Model for Boiling Region .....	8
2.4.4 Thermal-Hydraulics in Bypass Region .....	9
2.4.5 Thermal-Hydraulics in Peripheral Stagnant Region .....	10
2.5 Thermal-Hydraulics in Upper Plenum .....	11
2.6 Steam Separator Model .....	13
2.7 Thermal-Hydraulics in Steam Dome .....	16
2.8 Thermal-Hydraulics in Saturated Region in Downcomer .....	17
2.9 Thermal-Hydraulic Model in Lower Downcomer, Recirculation Loops and Lower Plenum .....	19
2.9.1 Model for the Plant with Jep Pumps .....	19
2.9.2 Model for the Plant without Jep Pumps .....	20
2.9.3 Thermal-Hydraulic Model in Downcomer and Lower Plenum ...	21
2.10 Momentum Equations for Primary System .....	22
2.10.1 Model for the Plant with Jet Pumps .....	22
2.10.2 Model for the Plant without Jet Pumps .....	24
2.10.3 Recirculation Pump Model .....	24
2.10.4 Recirculation Flow Control Model .....	25
2.11 Thermal-Hydraulics for Steam Line .....	25
2.11.1 Steam Outlet Flow from Pressure Vessel .....	25
2.11.2 Pressure Drop in Steam Line .....	26
2.11.3 Flow Dynamics in Steam Line .....	26
2.11.4 Turbine Inlet Flow and Pressure Control System .....	27
2.11.5 Turbine Bypass Flow .....	27
2.11.6 Safety Relief Valve Discharge Flow .....	28
2.11.7 Isolation (Emergency) Condenser .....	28
2.12 Feedwater System Model .....	28
2.12.1 Feedwater Flow Control System .....	28
2.12.2 Feedwater Enthalpy Calculation .....	28

2.13 Correlation for MCHFR .....	29
2.14 Reversed Core Flow Model under Natural Circulation .....	29
3. Models for Balance of Plant .....	31
3.1 Turbine System Model .....	31
3.1.1 Extraction Flow Model .....	31
3.1.2 Turbine-Generator Model .....	32
3.2 Moisture Separator Model .....	32
3.3 Main Condenser Model .....	33
3.4 Feedwater Heater Model .....	34
4. Numerical Solution Methods .....	39
4.1 Calculation of Initial Condition .....	39
4.2 Calculation of Flow, Pressure and Volume Change .....	39
4.3 Key SUBROUTINES .....	43
5. Input Data Descriptions .....	48
5.1 Input Data of Primary System .....	48
5.2 Input Data of BOP .....	62
References .....	73
Appendix Sample Input and Output .....	74



## 記 号 表

A	面 積	$m^2$
$C_i$	遅発中性子先行核濃度	—
$C_p$	比 熱	$kcal/kg^{\circ}C$
D	圧力変化式の分母	$kcal/kg/cm^2$
$D_e$	水力等価直径	m
FR	流路圧力損失	$kg/cm^2$
g	重力の加速度	$m/sec^2$
H	{ 熱伝達係数 高 さ	$kcal/m^2 s^{\circ}C$ m
$\Delta H_r$	原子炉水位真値（気液混合水位）変化分	cm
$\Delta H_m$	原子炉水位計器値変化分	cm
$h_F$	給水エンタルピ（原子炉入口）	$kcal/kg$
$h_f$	飽和水エンタルピ	//
$h_g$	飽和蒸気エンタルピ	//
$h_{fg}$	蒸発潜熱	//
$h_{DC}$	給水合流部エンタルピ	//
$h_{in}$	炉心入口エンタルピ	//
$h_J$	ジェットポンプ出口エンタルピ	//
$h_{Rin}$	炉心上部プレナム入口エンタルピ	//
$h_{Rout}$	"          出口          "	//
$h_v$	ベッセル飽和水領域出口エンタルピ	//
$h_{FHC}$	給水ヒータ内の冷却ゾーンエンタルピ	//
$h_{FHD}$	"          凝縮ゾーンエンタルピ	//
$h_{WF}$	"          給水エンタルピ	//
$\Delta h_s$	炉心入口サブクーリング	//
$\Delta h_{sc}$	炉心漏洩領域出口サブクーリング	//
J	仕事の換算係数（426.9）	$kg \cdot m/kcal$
K	定 数	—
k	熱伝導率	$kcal/ms^{\circ}C$
L	長さ，水位	m
$\ell$	中性子寿命	sec
M	質 量	kg
$M_{fC}$	炉心飽和領域液相質量	//
$M_{gC}$	炉心飽和領域気相質量	//

$M_{TC}$	炉心飽和領域全質量	kg
$M_{fR}$	炉心上部プレナム液相質量	"
$M_{gR}$	" 気相質量	"
$M_{TR}$	" 全質量	"
$M_{fsp}$	セパレータ液相質量	"
$M_{gsp}$	セパレータ気相質量	"
$M_{gD}$	ドーム蒸気質量	"
$M_{fV}$	ベッセル飽和水領域液相質量	"
$M_{gV}$	" 気相質量	"
$M_{TV}$	" 全質量	"
$M_{MSW}$	湿水分離器ドレン質量	"
$M_{FW}$	給水ヒータ内の給水質量	"
$M_{CON}$	復水器復水質量	"
$N$	中性子束	—
$N_p$	再循環ポンプ回転数	rpm
$N_{TB}$	タービン回転数	"
$P$	原子炉圧力	kg/cm <sup>2</sup> g
$P_D$	ドーム部蒸気圧力	"
$P_T$	タービン入口圧力	"
$P_p$	再循環ポンプ揚程	kg/cm <sup>2</sup>
$P_J$	ジェットポンプ吸込み揚程	"
$P_{DH}$	自然循環水頭	"
$P_{ex}$	給水ヒータへの抽気蒸気圧力	"
$P_{EX}$	タービン内各段の抽気蒸気圧力	"
$P_{HTE}$	高圧タービン排気圧力	"
$P_{MSi}$	湿水分離器入口圧力	"
$P_{MSo}$	" 出口圧力	"
$Q$	発熱量	kcal/sec
$r$	半径	m
$R_g$	炉心平均ボイド率	—
$R_{gR}$	炉心上部プレナム平均ボイド率	—
$s$	ラプラス演算子, エントロピ	sec <sup>-1</sup> , kcal/kg °K
$T$	温度	°C
$T_C$	被覆管温度	"
$T_f$	燃料温度	"
$T_{CON}$	復水器復水温度	"
$T_{CW}$	復水器2次側循環水温度	"
$T_{FHC}$	給水ヒータ冷却ゾーン温度	"

$T_{FHD}$	給水ヒータ凝縮ゾーン温度	°C
$T_{FW}$	給水温度	"
$t$	時間	sec
$\Delta t$	タイムメッシュ	"
$u$	冷却材流速	m/sec
$V$	{バルブ開度 体積	— m <sup>3</sup>
$V_c$	炉心体積	"
$V_L$	炉心漏洩領域体積	"
$V_R$	炉心上部プレナム体積	"
$V_{DT}$	滞流水領域体積	"
$V_{sp}$	セパレータ体積	"
$V_v$	ベッセル飽和水領域体積	"
$V_D$	ドーム体積	"
$v_f$	飽和水比容積	m <sup>3</sup> /kg
$v_g$	飽和蒸気比容積	"
$v_{fg}$	$v_g - v_f$	"
$v_{sc}$	サブクール水比容積	"
$W_p$	再循環ポンプ一台流量	kg/sec
$W_O$	再循環流量	"
$W_{OC}$	炉心チャンネル領域入口流量	"
$W_{OL}$	炉心漏洩領域流量	"
$W_{cp}$	浄化系流量	"
$W_{TC}$	炉心チャンネル領域出口全流量	"
$W_{gC}$	" 気相流量	"
$W_{fC}$	" 液相流量	"
$W_{gCR}$	炉心上部プレナム入口気相流量	"
$W_{fCR}$	" 液相流量	"
$W_{TR}$	炉心上部プレナム出口全流量	"
$W_{gR}$	" 気相流量	"
$W_{fR}$	" 液相流量	"
$W_{gsp}$	セパレータ出口気相流量	"
$W_{fsp}$	" 液相流量	"
$W_{gD}$	ドーム入口蒸気流量	"
$W_{gs}$	ドライヤーからドームへの蒸気流量	"
$W_{TV}$	ベッセル飽和水領域出口全流量	"
$W_F$	給水流量	"
$W_S$	蒸気流量	"

$W_{ST}$	タービン系蒸気流量	kg/sec
$W_{SB}$	タービンバイパス弁蒸気流量	"
$W_{SRF}$	逃し弁蒸気流量	"
$W_{SEC}$	非常用復水器系蒸気流量	"
$W_{SSV}$	原子炉安全弁系蒸気流量	"
$W_{LOSS}$	蒸気流量に換算した原子炉及びプラントの熱損失	"
$W_{EX}$	タービン内のある段から次の段への蒸気流量	"
$W_{ex}$	タービンから給水ヒータへの抽気流量	"
$W_{SLTI}$	低圧タービン入口蒸気流量	"
$W_{SHTE}$	高圧タービン排気蒸気流量	"
$W_{MSi}$	湿水分離器入口蒸気流量	"
$W_{MSo}$	湿水分離器出口蒸気流量	"
$W_{MSDI}$	湿水分離器ドレンタンク入口ドレン流量	"
$W_{MSDO}$	" 出口 "	"
$W_{CONI}$	低圧タービン排気蒸気流量	"
$W_{CONO}$	復水器出口復水流量	"
$W_{ATH}$	その他の復水器へのドレン流量	"
$W_{CW}$	復水器2次側循環水	"
$X_C$	炉心チャンネル領域平均出口クオリティ	—
$X_R$	炉心上部プレナム出口クオリティ	—
$X_{cu}$	キャリアンダクオリティ	—
$X_V$	ベッセル飽和水領域出口クオリティ	—
$\beta$	遅発中性子割合	—
$\beta_{CO}$	キャリアオーバー	—
$\eta$	炉心流量配分	—
$\eta_P$	再循環ポンプ効率	—
$\lambda$	遅発中性子崩壊定数	sec <sup>-1</sup>
$\rho$	{ 反応度 密度	— kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	時定数	sec

## 添 字

av	平 均
C	炉心, 被覆材
CR	炉心上部プレナム入口
CON	復水器
D	ドーム
DC	ダウンカマ
DT	滞留水領域
F	給 水
f	飽和水, 燃料
g	飽和蒸気
HT	高圧タービン
in	入 口
i	燃料半径方向のノード番号
j	燃料及びチャンネル流路の軸方向ノード番号
J	ジェットポンプ
L	炉心漏洩領域
LP	下部プレナム
LT	低圧タービン
MS	湿分分離器
O	出 口
P	再循環ポンプ
R	炉心上部プレナム (ライザ)
S	サブクール水
sat	飽 和 水
SP	セパレータ, 制御系の設定点
T	タービン系統
TB	タービン
V	ベッセル飽和水領域, ボイド
W	冷却材
0	初期値を表わす
*印	定格定常値を表わす
[ ]	定格定常時の値で規格化したものであり, 圧力と体積は絶対値を, XとR <sub>g</sub> は%単位を表わす。

# 1. 緒 言

動特性解析コードBWRDYNは、BWR (Boiling Water Reactor) プラントを対象に開発されたもので主に、

- ・各種運転条件下における種々の外乱に対する過渡解析が可能
- ・プラントの制御系の評価が可能
- ・異常事象時のプラント状態の診断や進展予測を行うに必要なデータを提供可能

なことを開発目標として想定している。このためには計算の高速性及び解析の高精度が要求されることからモデル化に際し、プラント全体のバランスを考慮しつつ、種々の仮定を用い、モデルの簡単化を行った。図 1.1 にモデル化した BWR プラントのフローダイアグラムと制御系を示す。本報告書では図中の原子炉への給水入口からタービン入口までを 1 次系、タービン入口から給水ヒータ出口までを 2 次系と呼ぶことにする。

解析モデルの主要な特徴を列挙すると、

- ① 熱水力モデルに対しては、飽和領域（炉心入口から給水スパージャーまで）を 5 領域（炉心、上部プレナム、セパレータ、ドーム、自由水面領域）に分割している（図 1.2 参照）。
  - ② 未飽和領域（ダウンカマ、再循環パイプ、下部プレナム）ではエンタルピの輸送と、飽和状態に変化した場合のボイドが水位に及ぼす効果が考慮されている。後者には気水分離モデルを用いている。
  - ③ 炉心は軸方向に複数のノードに分割可能で、軸方向出力分布、ボイド分布が考慮できる。
  - ④ 炉心内のボイド挙動のモデル化には実験相関式によるスリップ比とスリップ速度が用いられている。
  - ⑤ セパレータ内の水量の評価にはダウンカマ水位、蒸気クオリティ及び全流量の 3 つの効果が考慮されている。
  - ⑥ 圧力は原子炉内一様としているが、入力オプションにより蒸気ドライヤーの内側と外側の 2 領域で独立に圧力挙動を取扱うことにより、ドライヤー内外の圧力差がダウンカマ水位に及ぼす効果を考慮できる。
  - ⑦ 再循環系はジェットポンプを有する場合と無い場合と共にモデル化されている。
  - ⑧ 1 次系内の流路は電気回路に相当するネットワークとして扱われ、それに基づく運動方程式によって炉心入口流量及び再循環流量が計算されている。
  - ⑨ 気泡の体積と離脱速度の相関式等静的な関係式は一次遅れを援用して動的挙動に適用させている。
  - ⑩ 制御系は圧力、給水流量及び再循環流量に対する 3 つがモデル化されている。
- 以上の項目の基本的な考え方は JPDR-2 (Japan Power Demonstration Reactor 2) の動特性解析コード JPDYN-N<sup>(1)</sup> の開発を通して得られた知見を参考にしている。
- これらの他に関連する項目を挙げると、
- ⑪ 中性子束の挙動には一点近似動特性方程式が用いられている。

- ⑫ 主蒸気管内の蒸気は蒸気ドーム部に含めて取り扱われているが、急激な蒸気流の変動を伴う事象にたいしては、管内の蒸気の動的挙動も評価可能である。
- ⑬ 小破断漏洩のモデルが取り扱われている。
- ⑭ 炉内冷却水が逆流した場合のモデルも考慮されている。
- ⑮ ホットチャンネルの計算が取り扱われている。
- ⑯ ECCS 流量も取り扱われている。

上記③、④項は BWR の中小破断解析コード JPLEAK<sup>(2)</sup> の作成時に開発された解析モデルを用いている。

なお、プラント全体の模擬のため、主要な 2 次系統（湿分分離器、タービン・発電機、復水器、給水加熱器）も取扱われている。従って、2 次系からの外乱が原子炉の動特性に及ぼす効果について解析することができる。

本報告書に示されている解析モデルのうち 1 次系については、商用 BWR 発電プラントの実測データとの比較により解析モデルの妥当性が評価されている。<sup>(3)</sup> 炉心冷却水の逆流モデル、2 次系のモデルについては、これらを含めたモデルによる過渡事象解析が行われている<sup>(4)</sup> が、実測データとの比較は行われていない。

本使用マニュアルでは、2、3 章でそれぞれ 1 次系及び 2 次系の解析モデル、4 章で数値解法の概要について述べている。5 章で入力データの説明を行い、付録に Peach Bottom 2 号炉の解析例を挙げている。

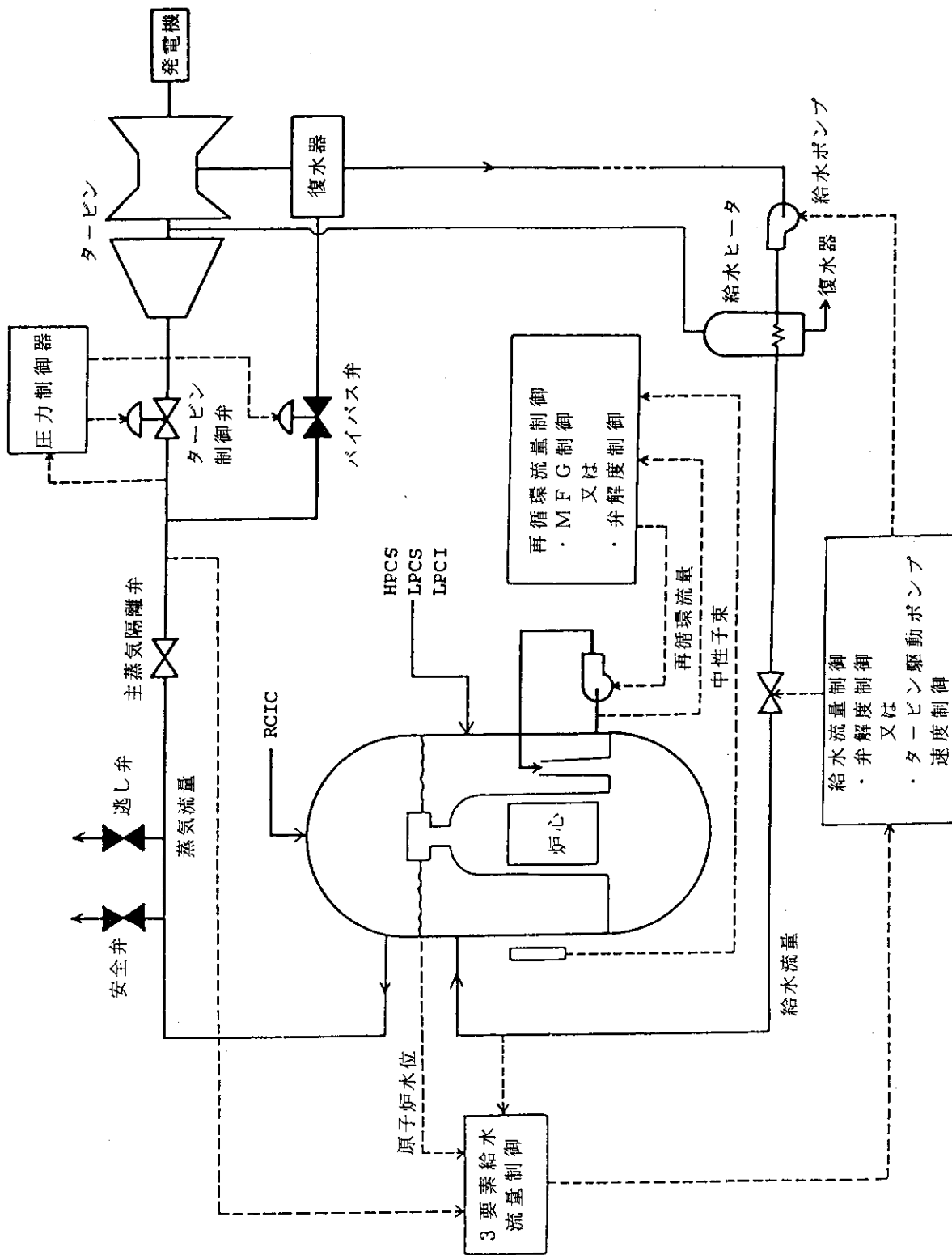


図 1.1 BWRプラントのフローダイアグラム及び制御系



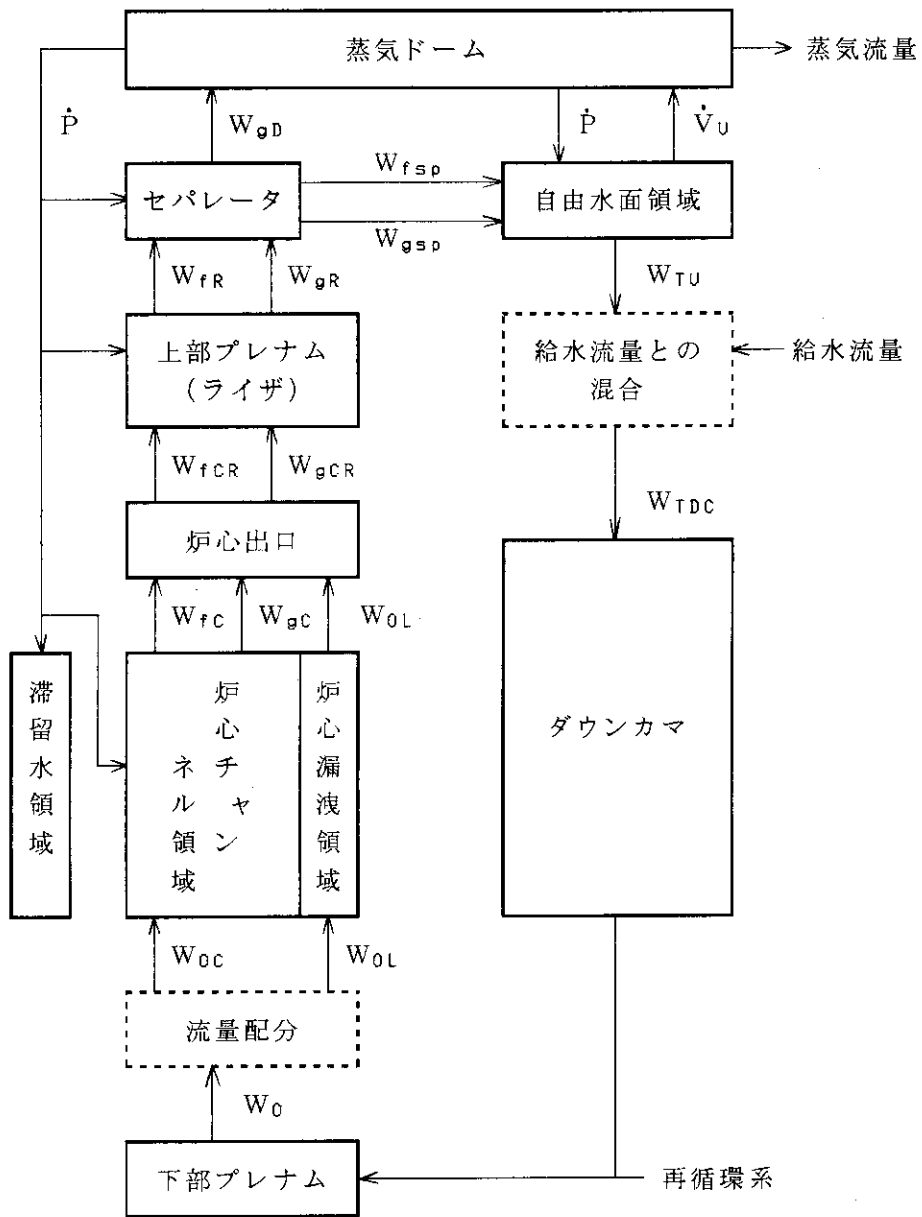


図1. 2 炉内熱水力モデルの概念図

## 2. 1次系の解析モデル

### 2.1 中性子動特性

一点近似の中性子動特性方程式は次式で表わされる。

$$\frac{d}{dt} N = \frac{\rho - \beta}{\ell} N + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \quad (2.1.1)$$

$$\frac{d}{dt} C_i = \frac{\beta_i}{\ell} N - \lambda_i C_i \quad (i = 1, 6) \quad (2.1.2)$$

記号については記号表を参照のこと。反応度は、このモデルではボイド、ドップラー、減速材温度の3つを取入れている。これらの値は入力による。

### 2.2 核熱出力

炉心平均の中性子束  $N$  が核分裂により放出される熱量  $q_N$  は、燃料棒内での発熱割合を  $R_{Nf}$ 、チャンネル内の水中での発熱割合を  $R_{NC}$ 、チャンネル外の水中での発熱割合を  $R_{NL}$ 、その発熱量をそれぞれ  $q_{Nf}$ 、 $q_{NC}$ 、 $q_{NL}$  とすれば、

$$q_N = q_{Nf} + q_{NC} + q_{NL} \quad (2.2.1)$$

$$q_{Nf} = R_{Nf} K_N N \quad (2.2.2)$$

$$q_{NC} = R_{NC} K_N N \quad (2.2.3)$$

$$q_{NL} = R_{NL} K_N N \quad (2.2.4)$$

ここで  $K_N$  は定数である。また、炉心平均中性子束  $N_0$  で長時間運転した場合の崩壊熱  $q_D$  は、その後の数時間を模擬するときは次式で表わす。

$$q_D = R_D \left( \frac{a_1}{1 + \tau_1 S} + \frac{a_2}{1 + \tau_2 S} + \frac{a_3}{1 + \tau_3 S} \right) N \quad (2.2.5)$$

$$a_1 = 0.47 \quad \tau_1 = 30, \quad (\text{sec})$$

$$a_2 = 0.25 \quad \tau_2 = 1000,$$

$$a_3 = 0.28 \quad \tau_3 = 20000.$$

ここで  $R_D$  は崩壊熱の全発熱量に対する割合であり、全発熱量は次式となる。

$$q = q_N (1 - R_D) + q_D \quad (2.2.6)$$

### 2.3 燃料温度

燃料ペレットを半径方向に  $i_{MAX}$  等分し、ギャップの熱容量を無視し、被覆管は一領域で扱う。また、軸方向には燃料有効長を  $j_{MAX}$  等分し、軸方向の熱伝導はないとすれば、次の熱バランス式が成立する。

$$\rho_{fi,j} C_{pfi,j} V_{fi,j} \frac{\partial}{\partial t} T_{fi,j} = A_{fi-1,i,j} H_{fi-1,i,j} (T_{fi-1,i,j} - T_{fi,j}) - A_{fi,i+1,j} H_{fi,i+1,j} (T_{fi,j} - T_{fi+1,i,j}) + q_{fi,j} \quad (2.3.1)$$

$$\rho_{Cj} C_{pCj} V_{Cj} \frac{\partial}{\partial t} T_{Cj} = A_{fC} H_{fC} (T_{fi_{MAX},j} - T_{Cj}) - A_{CWj} H_{CWj} (T_{Cj} - T_{Wj}) \quad (2.3.2)$$

燃料ペレット内の熱伝達係数は隣接する領域の熱伝導度を重みとして平均したものをを用いる。

$$H_{fi,i+1,j} = \frac{V_{fi,j} k_{fi,j} + V_{fi+1,j} k_{fi+1,j}}{\Delta r_f (V_{fi,j} + V_{fi+1,j})} \quad (2.3.3)$$

燃料ペレットから被覆管への熱伝達係数は次式より

$$\frac{1}{H_{fc,j}} = \frac{\Delta r_f}{2k_{fi_{MAX},j}} + \frac{1}{H_g} + \frac{\Delta r_c}{2k_{c,j}} \quad (2.3.4)$$

ここで  $\Delta r_f$  は  $i_{MAX}$  等分されたペレット半径で、 $\Delta r_c$  は被覆管厚さ、 $H_g$  はヘリウムギャップの熱伝達係数である。UO<sub>2</sub> ペレット<sup>(5)</sup> とジルカロイ-2 被覆管<sup>(6)</sup> の熱伝導度は次式を用いる。

$$k_f = \frac{3290}{T+402} + 4.12 \times 10^{-11} (T+273.15)^3 \quad (\text{kcal/mhr}^\circ\text{C})$$

$$k_c = 0.010962 T + 10.5462 \quad (\text{kcal/mhr}^\circ\text{C})$$

比熱<sup>(6)</sup> は、おのこの次式を用いる。

$$C_{pf} = 0.8123 \times 10^{-8} T^2 - 0.9556 \times 10^{-6} T + 0.0657 \quad (\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$$

$$C_{pc} = 0.25 \times 10^{-3} T + 0.07 \quad (\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$$

線膨張率<sup>(7)</sup> はおのこの次の値を用いる。

$$\text{UO}_2 \text{ ペレット} \quad \dots\dots\dots 1.052 \times 10^{-5} \quad (1/^\circ\text{C})$$

$$\text{ジルカロイ-2} \quad \dots\dots\dots 3.162 \times 10^{-9} T + 5.62 \times 10^{-6} \quad (1/^\circ\text{C})$$

燃料表面熱流束  $q$  は燃料表面熱伝達係数を  $H_w$ 、被覆管表面温度を  $T_{cs}$ 、冷却材温度を  $T_w$  とすれば、

$$q = (T_{cs} - T_w) H_w = \Delta T_s H_w \quad (2.3.5)$$

Jens - Lottes の核沸騰強制対流熱伝達の式<sup>(7)</sup>を用いると  $\Delta T_s$ 、 $q$  の間には次の関係がある。

$$\Delta T_s = 0.82 q^{\frac{1}{4}} e^{\frac{P}{63}} \quad (2.3.6)$$

(2.3.5) 式と (2.3.6) 式より  $H_w$  は

$$H_w = \frac{1}{0.82} q^{\frac{3}{4}} e^{\frac{P}{63}} \quad (2.3.7)$$

被覆管外半径を  $r_{co}$ 、被覆管中心までの半径を  $r_{cc}$  とすれば被覆管表面温度  $T_{cs}$  は定常状態では次式で表わされる。

$$T_{cs} = T_c - \frac{q r_{co}}{k_c} \ln \frac{r_{cc}}{r_{co}} \quad (2.3.8)$$

被覆管の熱伝導度は大きくかつ被覆管厚さが小さいことから過渡状態にこの関係を用いても十

分よい近似である。

$$q = (T_c - T_w) H_{cw} \tag{2.3.9}$$

$$\frac{1}{H_{cw}} = \left( \frac{1}{r_{co} H_w} + \frac{1}{k_c} \ln \frac{r_{cc}}{r_{co}} \right) r_{co} \tag{2.3.10}$$

$H_{cw}$  が被覆管から冷却材への実効的な熱伝達係数である。炉心冷却材がサブクール状態になったときは Colburn の式を用いる。

$$H_w = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{0.4} \frac{k_w}{D_e} \tag{2.3.11}$$

## 2.4 炉心熱水力特性

### 2.4.1 流量配分

炉心入口における冷却材全流量  $W_0$  のうち漏洩領域に流入する割合を  $\eta$  とすれば、チャンネル領域入口流量  $W_{oc}$ 、漏洩領域入口流量  $W_{ol}$  はそれぞれ次式となる。

$$W_{oc} = (1 - \eta) W_0 \tag{2.4.1}$$

$$W_{ol} = \eta W_0 \tag{2.4.2}$$

$\eta$  は  $W_0$  の関数であり、入力データで与えられる。

### 2.4.2 チャンネル領域

チャンネル領域では、軸方向に  $j_{MAX}$  等分した各ノードで熱水力計算を行っている。飽和状態のノードに質量、体積、エネルギーの各保存則を用いてまとめると隣接ノードとの間に次の関係式を得る。

$$W_j = \left\{ \left( v_f + v_{fg} X_{j-1} \right) W_{j-1} - \left( D_j \frac{dP}{dt} - Q_{cj} \right) \frac{v_{fg}}{h_{fg}} \right\} / (v_f + v_{fg} X_j) \tag{2.4.3}$$

ここで  $W$ 、 $X$  はそれぞれノード出口の全流量、クオリティであり、 $Q_c$  はノード間の発熱量、 $D$  は飽和水、蒸気の質量を  $M_f$ 、 $M_g$  とすれば次式で表わされる。

$$D_j = \left( \frac{\partial h_f}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial P} \right) M_{fcj} + \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) M_{gcj} - \frac{V_{cj}}{J} \tag{2.4.4}$$

チャンネル入口から沸騰境界までのサブクール領域では比容積が等しいとし ( $v_f = v_{sc}$ )、飽和度を表わすファクター ( $SF_c$ ) を用いると (2.4.3) 式は次式となり全ノードで用いることができる。

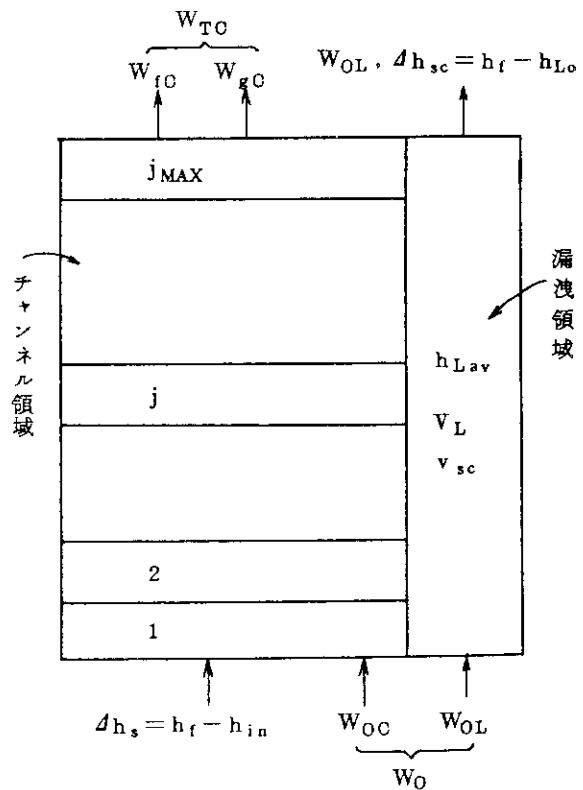


図 2.1 炉心熱水力特性解析モデル

$$W_j = \left\{ (v_f + v_{fg} X_{j-1}) W_{j-1} - (SF_c)_j \left( D_j \frac{dP}{dt} - Q_{cj} \right) \right\} / (v_f + v_{fg} X_j) \quad (2.4.5)$$

各ノードにおけるエンタルピ  $h_j$  は質量及びエネルギー・バランス式より  $(SF_c)$  を用いて表わすと

$$M_{TCj} \frac{\partial h_j}{\partial t} = W_{j-1} (h_{j-1} - h_j) + Q_{cj} + (SF_c)_j \frac{V_{cj}}{J} \frac{dP}{dt} \quad (2.4.6)$$

冷却材温度  $T_{wj}$  は  $h_j$  より蒸気表から求める。 $(SF_c)_j$  は各ノードのエンタルピより

$$\left. \begin{aligned} (SF_c)_j &= 1 && h_f < h_j, h_{j-1} \\ &= \frac{h_j - h_f}{h_j - h_{j-1}} && h_{j-1} < h_f < h_j \\ &= 0 && h_j, h_{j-1} < h_f \end{aligned} \right\} \quad (2.4.7)$$

各領域のボイド率  $R_{gj}$  は質量及び体積保存則より次式で表わされる。

$$R_{gj} = \frac{1}{V_{cj} \left( \frac{1}{v_f} - \frac{1}{v_g} \right)} \int (W_j - W_{j-1}) dt \quad (2.4.8)$$

ボイド率とクオリティとの関係は次式の修正アルマンド式<sup>(9)</sup>を用いる。

$$R_{gj} = \frac{(0.833 + 0.167 \bar{X}_j) \bar{X}_j v_g}{(1 - \bar{X}) v_f + \bar{X}_j v_g} \quad (2.4.9)$$

ここで  $X$  はノード内の平均クオリティで出口クオリティは、通過時間  $\tau_j$  の一次遅れで表わす。

$$X_j = \frac{1}{1 + \tau_j S} \bar{X}_j \quad (2.4.10)$$

$S$  はラプラス演算子

$$\tau_j = \frac{M_{TCj}}{2 W_j} \quad (2.4.11)$$

$$M_{fCj} = \frac{(1 - R_{gj}) V_{cj}}{v_f} \quad (2.4.12)$$

$$M_{gCj} = \frac{R_{gj} V_{cj}}{v_g} \quad (2.4.13)$$

$$M_{TCj} = M_{fCj} + M_{gCj} \quad (2.4.14)$$

$$W_{gj} = X_j W_j \quad (2.4.15)$$

$$W_{fj} = (1 - X_j) W_j \quad (2.4.16)$$

以上の式から各ノードのパラメータを求めることができる。

### 2.4.3 冷却材の流速が遅い場合のチャンネル飽和領域の取扱い

再循環ポンプがトリップしたときのように冷却材の流速が非常に遅くなった場合にはボイドのスリップ比の考え方は適用できない。このような場合にはボイドのスリップ速度の考え方が適当である。ここでは Wilson の相関による気泡離脱速度<sup>(8)</sup>を用いる。これは次のような実験式で表わされる。ボイド率を  $\alpha$ 、水力直径を  $D_e$  (m) 気相、液相の密度をそれぞれ  $\rho_g$ 、 $\rho_f$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

とすると  $u_B$  (m/sec) は,

$$u_{B1} = \left( \frac{\alpha}{0.136 ab} \right)^{\frac{1}{1.78}} (g D_e b^{\frac{1}{0.19}})^{0.5} \quad (2.4.17)$$

$$u_{B2} = \left( \frac{\alpha}{0.75 ab} \right)^{\frac{1}{0.78}} (g D_e b^{\frac{1}{0.19}})^{0.5} \quad (2.4.18)$$

$$\left. \begin{aligned} u_B = u_{B1} : u_{B1} \geq u_{B2} \\ u_B = u_{B2} : u_{B1} < u_{B2} \end{aligned} \right\} \quad (2.4.19)$$

ここで,

$$a = \left( \frac{\rho_g}{\rho_f - \rho_g} \right)^{0.32}$$

$$b = \left\{ \frac{1}{D_e} \left( \frac{\sigma}{\rho_f - \rho_g} \right)^{0.5} \right\}^{0.19}$$

$$\sigma = 1.2401 \times 10^{-5} (668 - 1.8 T_{sat}) \text{ (kg/m)}$$

これらの関係式を飽和状態の炉心チャンネル領域の各ノードに用いる。ノード  $j$  における気泡の離脱速度を  $u_{Bj}$ , 気相及び液相の速度をそれぞれ  $u_{gj}$ ,  $u_{fj}$  とすると

$$u_{gj} = u_{fj} + u_{Bj} \quad (2.4.20)$$

気相及び液相のノード出口での質量流量は断面積を  $A_c$  とすれば

$$W_{gj} = \rho_g A_c R_{gj} u_{gj} \quad (2.4.21)$$

$$W_{fj} = \rho_f A_c (1 - R_{gj}) u_{fj} \quad (2.4.22)$$

以上の3式と  $W_j = W_{gj} + W_{fj}$  の関係より次式がえられる。

$$W_{gj} = \frac{\rho_g R_{gj}}{\rho_f + \rho_{fg} f_{cj}} \{ W_j + u_{Bj} \rho_f A_c (1 - R_{gj}) \} \quad (2.4.23)$$

$$u_{gj} = \frac{1}{A_c (\rho_f + \rho_{fg} R_{gj})} \{ W_j + u_{Bj} \rho_f A_c (1 - R_{gj}) \} \quad (2.4.24)$$

冷却材流速が速いときにはスリップ比, 遅いときにはスリップ速度の考え方を適用するために(2.4.15)式を次のようにする。

$$W_{gj} = K_{csj} X_j W_j + (1 - K_{csj}) C_{gc1j} (W_j + C_{gc2j}) \quad (2.4.25)$$

$$C_{gc1j} = \frac{\rho_g R_{gj}}{\rho_f + \rho_{fg} R_{gj}} \quad (2.4.26)$$

$$C_{gc2j} = u_{Bj} \rho_f A_c (1 - R_{gj}) \quad (2.4.27)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{csj} = 1 & : W_{gj1} \geq W_{gj2} \\ & = 0 : W_{gj1} < W_{gj2} \end{aligned} \right\} \quad (2.4.28)$$

$W_{gj1}$  は(2.4.15)式で,  $W_{gj2}$  は(2.4.23)式で表わされる。

#### 2.4.4 炉心漏洩領域

この領域は通常未飽和状態であるのでエネルギー保存則のみを考える。出口及び平均のエンタルピをそれぞれ  $h_{LO}$ ,  $h_{lav}$ , また, この領域での発熱量を  $Q_{CL}$  とし, チャンネル領域との熱の授受はないとすれば

$$\frac{d}{dt} h_{Lav} = -\frac{v_{sc}}{V_L} \left\{ W_{OL} (h_{in} - h_{LO}) + Q_{CL} \right\} \quad (2.4.29)$$

$$h_{LO} = \frac{2}{1 + \frac{\tau_L}{2} S} h_{Lav} - \frac{1}{1 + \tau_L S} h_{in} \quad (2.4.30)$$

$$\tau_L = \frac{V_L}{v_{sc} W_{OL}} \quad (2.4.31)$$

$\tau_L$  はこの領域の通過時間である。出口におけるサブクール度を  $\Delta h_{sc}$  とすれば

$$\Delta h_{sc} = h_f - h_{LO} \quad (2.4.32)$$

#### 2.4.5 滞留水領域の取扱い

燃料集合体と炉心シュラウドとの間に滞留水（いわゆる死に水）が存在している。この領域の冷却材は定常状態では、飽和水と推定され圧力変化率に影響を与えることから無視することはできない。この領域は完全に密閉されてはおらず冷却材の微少の出入りが存在すると同時に炉心シュラウドを通してダウンカマ側冷却材によって除熱されるなど熱の授受があると推定される。また、2.2節でのべたように核分裂によるチャンネル外での発熱がある。しかし、ここでは滞留水領域での発熱及び外部との熱の授受はなく、この領域の冷却材は初期飽和水温度に保たれていると仮定する。また、(2.1.6)式で表わされる発熱量はすべて2.4.4項でのべた炉心漏洩領域に与えられるとしても炉心上部プレナム入口における熱バランスは変わらない。圧力の変化率に影響を与える  $D_{DT}$  は、この領域の体積を  $V_{DT}$ 、飽和の程度を表わす変数を  $(SF_D)$  とすれば

$$D_{DT} = \left\{ \left( \frac{\partial h_f}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial P} \right) \frac{1}{v_f} - \frac{1}{J} \right\} V_{DT} (SF_D) \quad (2.4.33)$$

$$(SF_D) = \frac{1}{1 + \tau_{DT} S} (SF_{D1}) \quad (2.4.34)$$

$$\left. \begin{aligned} (SF_{D1}) &= 1 && : T_{sat} \geq T_{sat}^* \\ &= 0 && : T_{sat} < T_{sat}^* \end{aligned} \right\} \quad (2.4.35)$$

ここで  $T_{sat}^*$  は初期飽和水温度を表わし、 $\tau_{DT}$  は変化時の時定数である。

なお、この領域が未飽和状態であると推定される場合には計算入力時に体積を零とする。

(第5章参照)

2.5 炉心上部プレナム熱水力特性

この領域の入口で炉心チャンネル領域からの二相流と漏洩流のサブクール水とが混合する。このときのエネルギーバランスから混合後の蒸気と水の流量  $W_{gCR}$ ,  $W_{fCR}$  はそれぞれ次式となる。

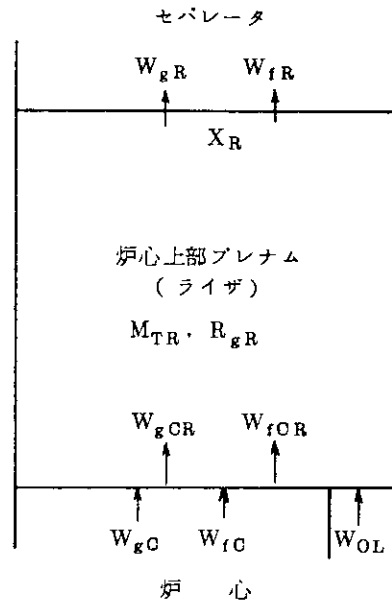


図 2.2 炉心上部プレナム解析モデル

$$\left. \begin{aligned} W_{gCR} &= W_{gC} - \frac{\Delta h_{sc}}{h_{fg}} W_{OL} & : h_{Rin} > 0 \\ &= 0 & : h_{Rin} \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.5.1)$$

$$W_{fCR} = W_{gC} + W_{fC} - W_{gCR} \quad (2.5.2)$$

$$h_{Rin} = \frac{h_{jMAX} W_{TC} + h_{LO} W_{OL}}{W_{TC} + W_{OL}} \quad (2.5.3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここで } W_{TC} &= W_{jMAX} \\ W_{fC} &= (1 - X_{jMAX}) W_{jMAX} \\ W_{gC} &= X_{jMAX} W_{jMAX} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4)$$

である。この領域が二相流の場合に質量，体積，エネルギーの各保存則を用いてまとめると次式をうる。

$$D_R \frac{dP}{dt} = \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \{ v_f (W_{fCR} - W_{TR}) + v_g W_{gCR} - v_{fg} W_{gR} \} \quad (2.5.5)$$

$$D_R = \left( \frac{\partial h_f}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial P} \right) M_{fR} + \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) M_{gR} - \frac{V_R}{J} \quad (2.5.6)$$

出口クオリティを  $X_R$  とすれば，出口の蒸気，水の流量は

$$W_{gR} = X_R W_{TR} \quad (2.5.7)$$

$$W_{fR} = (1 - X_R) W_{TR} \quad (2.5.8)$$

$X_R$  は平均のクオリティを  $\bar{X}_R$  とすれば次式で表わされる。

$$X_R = \frac{1}{1 + \tau_R K_R S} \bar{X}_R \quad (2.5.9)$$

ここで  $\tau_R$  は領域の通過時間であり， $K_R$  はクオリティが流れによって移動する場合と圧力変



化によりクオリティが変わる効果を考慮した定数である。

$$\tau_R = \frac{M_{TR}}{W_{TR}} \quad (2.5.10)$$

ボイド率とクオリティの関係は(2.4.9)式を用いる。 $M_{TR}$ ,  $M_{gR}$ ,  $M_{fR}$ は質量及び体積保存則より次式で表わされる。

$$M_{TR} = \int (W_{fCR} + W_{gCR} - W_{TR}) dt \quad (2.5.11)$$

$$M_{gR} = \frac{V_R}{v_{fg}} - \frac{v_f}{v_{fg}} M_{TR} \quad (2.5.12)$$

$$M_{fR} = M_{TR} - M_{gR} \quad (2.5.13)$$

出口エンタルピ  $h_{Rout}$  は

$$h_{Rout} = e^{-\tau_R S} h_{Rin} \quad (2.5.14)$$

領域内の一部または全部がサブクール水の場合にも上記のすべての関係は(2.5.6)式を除き  $v_f = v_{sc}$  の範囲内で有効である。この領域の飽和度を表わす記号を  $(SF_R)$  で表わすと(2.5.6)式の  $M_{gR}$  の効果が小さいことを考慮して

$$D_R = (SF_R) \left\{ \left( \frac{\partial h_f}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial P} \right) M_{fR} + \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) M_{gR} - \frac{V_R}{J} \right\} \quad (2.5.15)$$

$$\left. \begin{aligned} (SF_R) &= 1 && : h_f < h_{Rin}, h_{Rout} && \text{飽和の場合} \\ &= \frac{h_{Rout} - h_f}{h_{Rout} - h_{Rin}} && : h_{Rin} < h_f < h_{Rout} && \text{サブクールになり} \\ &= \frac{h_{Rout} - h_f}{h_{Rin} - h_{Rout}} && : h_{Rout} < h_f < h_{Rin} && \text{飽和になりつつあ} \\ &= 0 && : h_{Rin}, h_{Rout} < h_f && \text{サブクールの場合} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.16)$$

なお、冷却材の流速が遅い場合の炉心上部プレナムの取扱いは次のようにする。

再循環ポンプがトリップした場合のように冷却材の流速が非常に遅くなった場合には、炉心と同様にボイドのスリップ速度の考え方を適用する。(2.4.19)式で示したWilsonの相関による炉心上部プレナム内での気泡離脱速度を  $u_{BR}$  (m/sec) とすると

$$u_{BR} = u_{fR} + u_{BR} \quad (2.5.17)$$

ここで  $u_{gR}$  : 炉心上部プレナム出口での気相の速度 (m/sec)

$u_{fR}$  : 炉心上部プレナム出口での液相の速度 (m/sec)

炉心の場合と同様に  $W_{gR}$  及び  $U_{gR}$  は次のように表わされる。

$$W_{gR} = \frac{\rho_g f_R}{\rho_f + \rho_{fg} f_R} \{ W_{TR} + u_{BR} \rho_f A_R (1 - f_R) \} \quad (2.5.18)$$

$$u_{gR} = \frac{1}{A_R (\rho_f + \rho_{fg} f_R)} \{ W_{TR} + u_{BR} \rho_f A_R (1 - f_R) \} \quad (2.5.19)$$

ここで  $A_R$  : 炉心上部プレナム実効流路断面積 (m<sup>2</sup>)

$f_R$  : 炉心上部プレナム出口ボイド体積率

である。ライザ内では多くの場合に高さ方向のボイド分布は比較的ゆるやかと考えられるので  $f_R$  は次のように近似して扱う。

$$f_R = \frac{1}{1 + \tau_{R2} S} \bar{R}_{gR} \quad (2.5.20)$$

$$\tau_{R2} = \frac{H_R}{2} \frac{1}{u_{gR}} \quad (2.5.21)$$

冷却材流速が速い時にはスリップ比，遅い時にはスリップ速度の考え方を適用するために  $W_{gR}$  の式 (2.5.7) を次のように変更する。

$$W_{gR} = K_{RS} W_{TR} + (1 - K_{RS}) C_{gR1} (W_{TR} + C_{gR2}) \quad (2.5.22)$$

$$C_{gR1} = \frac{\rho_g f_R}{\rho_f + \rho_{fg} f_R} \quad (2.5.23)$$

$$C_{gR2} = u_{BR} \rho_P A_R (1 - f_R) \quad (2.5.24)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{RS} &= 1 && : W_{gR1} \geq W_{gR2} \\ &= 0 && : W_{gR1} < W_{gR2} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.25)$$

ここで  $W_{gR1}$  及び  $W_{gR2}$  はそれぞれスリップ比及びスリップ速度から計算した炉心上部プレナム出口蒸気質量流量である。

## 2.6 セパレータ熱水力特性

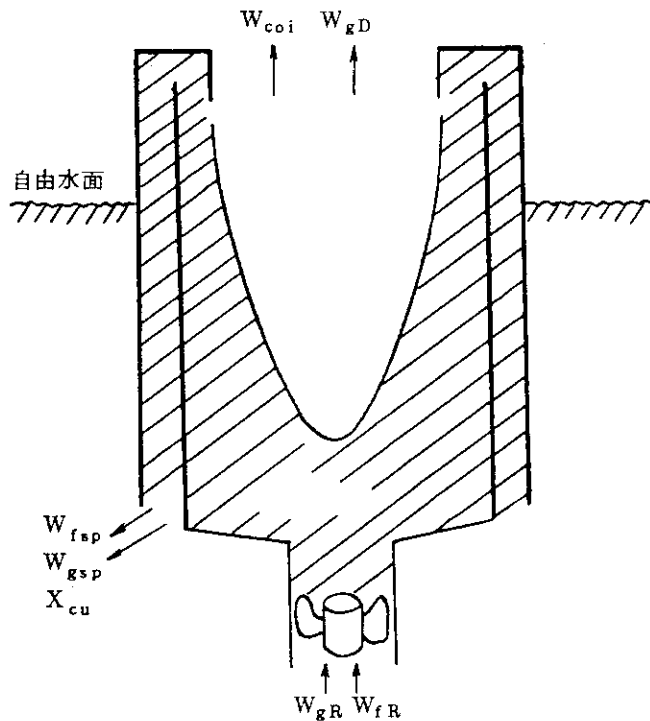


図 2.3 セパレータ解析モデル

セパレータ内の冷却水は他の領域における挙動と著しく異なること，また，保有水量がセパレータ外側の自由水面位置等により変化すると想定されることにより他の領域と異なった取扱いをする。セパレータ液相出口のキャリーアンダを  $X_{cu}$ ，気相出口のキャリーオーバーを  $\beta_{co}$  とし保

有水の大部分が水であることを考慮して質量保存則を適用すると

$$W_{fsp} = W_{fR} - W_{coi} + W_{cond} - \frac{1}{v_f} \frac{d}{dt} M_{fsp} \quad (2.6.1)$$

$$W_{gD} = W_{gR} - W_{gsp} - W_{cond} \quad (2.6.2)$$

$$\left. \begin{aligned} W_{gsp} &= \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} & : & \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} \leq W_{gR} - W_{cond} \\ &= W_{gR} - W_{cond} & : & \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} > W_{gR} - W_{cond} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.3)$$

$$W_{coi} = \frac{\beta_{co}}{1-\beta_{co}} W_{gD} \quad (2.6.4)$$

$$\left. \begin{aligned} W_{cond} &= W_{cond1} & : & W_{cond1} \leq W_{gR} \text{ and } M_{gsp} > 0 \\ &= W_{gR} & : & W_{cond1} > W_{gR} \text{ or } M_{gsp} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.6.5)$$

$$W_{cond1} = \frac{1}{h_{fg}} \left( M_{fsp} \frac{\partial h_f}{\partial p} + M_{gsp} \frac{\partial h_g}{\partial p} - \frac{V_{sp}}{J} \right) \frac{dp}{dt} \quad (2.6.6)$$

キャリーオーバーが原子炉動特性に及ぼす効果は無視できるので  $\beta_{co} = 0$  として以上の関係を整理すると

$$W_{fsp} = W_{fR} + (1 - K_{csp}) W_{gR} + K_{csp} D_{sp} \frac{dp}{dt} - \frac{1}{v_f} \frac{d}{dt} M_{fsp} \quad (2.6.7)$$

$$W_{gsp} = K_{gsp} \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} + (1 - K_{gsp}) K_{csp} \left( W_{gR} - D_{sp} \frac{dp}{dt} \right) \quad (2.6.8)$$

$$W_{gD} = K_{gsp} K_{csp} W_{gR} - K_{gsp} \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} - K_{gsp} K_{csp} D_{sp} \frac{dp}{dt} \quad (2.6.9)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{csp} &= 1 & : & W_{gR} - D_{sp} \frac{dp}{dt} \geq 0 \text{ and } M_{gR} > 0 \\ &= 0 & : & W_{gR} - D_{sp} \frac{dp}{dt} < 0 \text{ or } M_{gR} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.6.10)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{gsp} &= 1 & : & K_{csp} W_{gR} - \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} - K_{csp} D_{sp} \frac{dp}{dt} \geq 0 \\ &= 0 & : & K_{csp} W_{gR} - \frac{X_{cu}}{1-X_{cu}} W_{fsp} - K_{csp} D_{sp} \frac{dp}{dt} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.6.11)$$

$$D_{sp} = \frac{1}{h_{fg}} \left( M_{fsp} \frac{\partial h_f}{\partial p} + M_{gsp} \frac{\partial h_g}{\partial p} - \frac{V_{sp}}{J} \right) \quad (2.6.12)$$

セパレータ内の保有水量は、冷却材の流速、セパレータ入口クオリティ及びセパレータ外側水位の影響を受けるものと考えられるが、これらの関係を実験などで把握していない場合のモデル化は困難である。ここでは外側水位の効果のみを次のように取扱う。セパレータ内の冷却材は図に示すように逆円錐に近い形状をしていると推定されるが、保有水量が変化するときの実効的なセパレータ内水位  $H_{sp}$  と実効的な断面積  $A_{sp}$  とを用いて体積の変化分を表わすと

$$\Delta V_{sp} = A_{sp} (H_{sp} - H_{sp0}) \quad (2.6.13)$$

$H_{sp0}$  は初期値であり、 $H_{sp}$  には次の制限値がある。

$$H_{sp,Low} < H_{sp} < H_{spup} \quad (2.6.14)$$

冷却材質量  $M_{fsp}$  は

$$M'_{fsp} = \frac{V_{sp0} + F_{hsp} A_{sp} \{ \Delta H_{sp} - F_{wsp} H_{sp} (1 - [W_{TR}]) \}}{(1 + F_{gsp} [W_{gR}]) v_f} \quad (2.6.15)$$

定常状態での水の質量はこの式で求められるが、過渡状態では次のように一次おくれで表わす。

$$\frac{dM_{fsp}}{dt} = \frac{M'_{fsp} - M_{fsp}}{\tau_{sp}} \quad (2.6.16)$$

$\tau_{sp}$  は時定数で主に冷却材のセパレータ通過時間で決まると考えられる。

$$M_{gsp} = X_{cu} M_{fsp} \quad (2.6.17)$$

キャリアンダは炉心上部プレナム出口クオリティに比例するとすれば

$$X_{cu} = \frac{X_{cu}^*}{X_R^*} X_R \quad (2.6.18)$$

$$V_{sp} = v_f M_{fsp} + v_g M_{gsp} \quad (2.6.19)$$

セパレータを通過する冷却材のエンタルピー  $h_{sp}$  は (2.5.14) 式で表わされる  $h_{Rout}$  に対し、セパレータ内の通過時間が短いことから  $h_{sp} \approx h_{Rout}$  として扱う。

$h_{sp} < h_f$  の場合にはドーム蒸気がセパレータを通過する冷却材によって凝縮される。この流量を  $W_{spcond}$  で表わすと

$$\left. \begin{aligned} W_{spcond} &= K_{spcond} \frac{h_f - h_{sp}}{h_{fg}} W_{fsp} & : h_{sp} < h_f \\ &= 0 & : h_{sp} \geq h_f \end{aligned} \right\} \quad (2.6.20)$$

となり  $K_{spcond}$  は凝縮の割合を表わす係数であり、この状態で水位がセパレータ出口以下に降下した場合の凝縮も考慮して  $K_{spcond} = f_{spc}(h_{sp}, \Delta H_r)$  とする ( $\Delta H_r$  は (2.8.7) 式参照)。この流量は  $W_{fsp}$  に対してはきわめて微量であるがドーム蒸気圧力に対しては大きな効果をもつ。

(2.6.20) 式は (2.6.16) 式に加える。

$$\frac{d}{dt} M_{fsp} = \frac{M'_{fsp} - M_{fsp}}{\tau_{sp}} + W_{spcond} \quad (2.6.21)$$

## 2.7 ドーム部熱水力特性

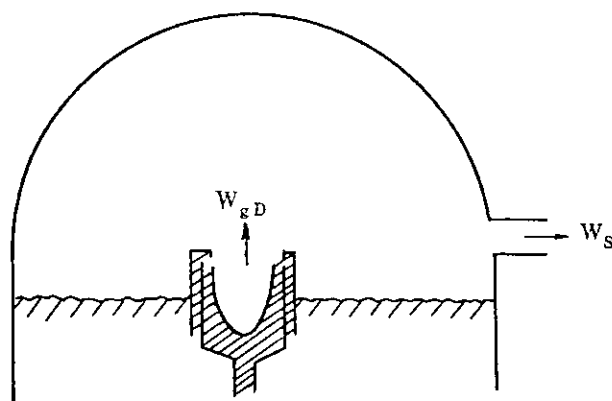


図 2.4 ドーム部解析モデル

ドーム蒸気部の体積がベッセル内自由水面の水位及びセパレータ内保有水量によって変化すること、冷却材が未飽和状態になったときセパレータで蒸気が凝縮されること、水位が低下して給水スパージャーが露出したとき給水により蒸気が凝縮されることを考慮する。また、キャリーオーバーされた水が動特性に及ぼす効果は小さいので無視し、自由水面を通しての熱の授受、蒸気の発生はないものとする。以上のことを考慮してこの領域に質量、体積、エネルギーの各保存則を適用してまとめると次式をうる。

$$D_D \frac{dp}{dt} = \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \left\{ v_g (W_{gD} - W_s - W_{spcond} - W_{sFcond} - W_{sFcond}) - \frac{dV_D}{dt} \right\} \quad (2.7.1)$$

$$D_D = \left\{ \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) \frac{1}{v_g} - \frac{1}{J} \right\} V_D \quad (2.7.2)$$

ドーム部体積  $V_D$  は主蒸気管部の動特性を考慮しないときはこの領域に含めて取扱う。

$$V_D = V_{DA} - V_v - V_{sp} + K_{ISO} V_{MSP} \quad (2.7.3)$$

ここで  $V_{DA}$  は給水スパージャー以上の体積とセパレータの体積及び主蒸気管部の隔離弁までの全体積であり、ベッセル飽和水領域の体積  $V_v$ 、セパレータ体積  $V_{sp}$  の変化を考慮している。また隔離弁下流側の主蒸気管体積  $V_{MSP}$  は弁の開閉による効果を  $K_{ISO}$  で表わす。

$W_{spcond}$  は (2.6.20) 式で表わされ、 $W_{spcond}$  は自由水面が給水スパージャー以下に低下したとき蒸気を凝縮する流量で

$$W_{sFcond} = K_{sFcond} \frac{h_f - h_F}{h_{fg}} W_F \quad (2.7.4)$$

$W_F$ ,  $h_F$  はそれぞれ給水流量、給水エンタルピで  $K_{sFcond}$  は凝縮の割合を表わす係数である。

なお、蒸気ドライヤーがセパレータを完全に被っていてドライヤーの内側と外側に差圧があり、動特性に影響を及ぼすと考えられる場合には次のように取扱う。

ドライヤー出口蒸気流量を  $W_{gs}$ 、外側の圧力を  $P_D$  とすれば (2.7.1) 式、(2.7.2) 式を2つに分割して

$$D_{D1} \frac{dp}{dt} = \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \left\{ v_g (W_{gD} - W_{gs} - W_{spcond} - W_{sFcond}) - \frac{dV_{D1}}{dt} \right\} \quad (2.7.5)$$

$$D_{D2} \frac{dP_D}{dt} = \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \left\{ v_g (W_{gs} - W_s) - \frac{dV_{D2}}{dt} \right\} \quad (2.7.6)$$

$$D_{D1} = \left\{ \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) \frac{1}{v_g} - \frac{1}{J} \right\} V_{D1} \quad (2.7.7)$$

$$D_{D2} = \left\{ \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) \frac{1}{v_g} - \frac{1}{J} \right\} V_{D2} \quad (2.7.8)$$

$$V_{D1} = V_D - V_{D2} \quad (2.7.9)$$

$$V_{D2} = V_{DRY0} + \Delta V_{DRY} + \Delta V_{sp} \quad (2.7.10)$$

ここで  $V_{DRY0}$  はドライヤー内の初期蒸気体積で  $\Delta V_{DRY}$  は水位変化による体積変化,  $\Delta V_{sp}$  はセパレータ内保有水量の変化による体積変化である。  $W_{gs}$  の算出には次の2つを考える。

$$W_{gs} = a_1 \sqrt{P - P_D} \quad (2.7.11)$$

$$W_{gs} = \int a_2 g (P - P_D - \Delta F_{DRY}) dt \quad (2.7.12)$$

$$\Delta F_{DRY} = a_3 W_{gs}^2 \quad (2.7.13)$$

$a_1, a_2, a_3$  は定数,  $g$  は重力の加速度,  $\Delta F_{DRY}$  はドライヤーを通過するときの圧力損失である。また, これらのドライヤーの効果は, ドライヤーの下端が自由水面上に十分露出した場合はないものとしている。

## 2.8 ベッセル飽和水領域熱水力特性

ベッセル飽和水領域 (又は自由水面領域) は自由水面から給水スパージャーまでであり, 体積が変わること及びキャリーオーバーの効果が小さいことを考慮して質量, 体積, エネルギーの各保存則を用いてまとめると次式をうる。

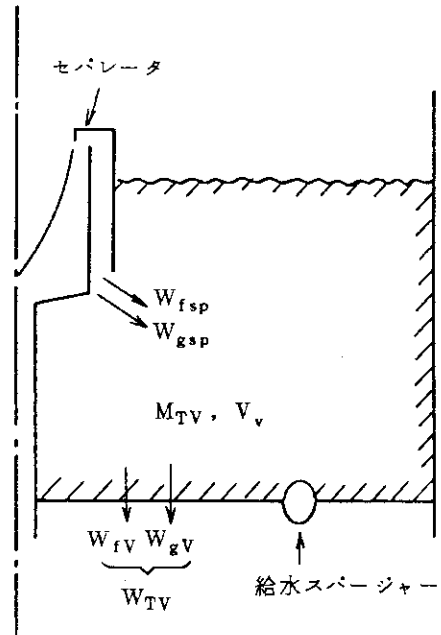


図 2.5 ベッセル飽和水領域解析モデル

$$D_V \frac{dp}{dt} = \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \left\{ v_f (W_{fsp} - W_{TV}) + v_g W_{gsp} - \frac{dV_v}{dt} \right\} - h_{fg} X_v W_{TV} \quad (2.8.1)$$

$$D_V = \left( \frac{\partial h_f}{\partial p} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial p} \right) M_{fv} + \left( \frac{\partial h_g}{\partial p} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial p} \right) M_{gv} - \frac{V_v}{J} \quad (2.8.2)$$

$$M_{TV} = \int (W_{fsp} + W_{gsp} - W_{TV}) dt \quad (2.8.3)$$

$$M_{gv} = \frac{V_v}{v_{fg}} - \frac{v_f}{v_{fg}} M_{TV} \quad (2.8.4)$$

$$M_{fv} = M_{TV} - M_{gv} \quad (2.8.5)$$

この領域の蒸気質は圧力変化に支配され、また、通過時間が短いことから出口クオリティを次のように表わす。

$$X_v = \bar{X}_v = \frac{M_{gv}}{M_{TV}} \quad (2.8.6)$$

以上の関係はこの領域が飽和二相流である場合にのみ成立する。すなわち次のすべての条件を満たすときにかぎられる。

i) 水位が給水スパージャーより上にあること。この場合次の関係が成立している。

$$V_v \geq 0, \quad M_{TV} \geq 0, \quad M_{fv} \geq 0, \quad M_{gv} \geq 0, \quad D_v \geq 0$$

ii) この領域の冷却材が飽和状態にあること。すなわち

$$M_{gv} > 0$$

これらの条件を満たさない場合には  $D_v$ ,  $X_v$ ,  $M_{gv}$  を次のように修正することによって関係式の機能を拡張することができる。

i') 水位が給水スパージャー以下に下った場合

$$D_v = 0$$

$$X_v = \frac{W_{gsp}}{W_{TV}}$$

この時  $V_v$  は負の値で計算され、この絶対値は給水スパージャー以下で水面までの体積を表わしている。

ii') 水位が給水スパージャーより上にあり冷却材が未飽和状態の場合

$$D_v = 0$$

原子炉水位の基準水位からの偏差は次のようにして求められる。すなわち実際の自由水面の偏差  $\Delta H_r$  は、給水スパージャーから自由水面までの高さを  $H_r$ 、その初期値を  $H_{r0}$  とすれば

$$\Delta H_r = H_r - H_{r0} \quad (2.8.7)$$

$$\int_0^{H_r} A(H) dH = V_v \quad (2.8.8)$$

$A(H)$  は各高さにおける断面積である。また、水位計に指示される水位  $\Delta H_m$  は水頭であるから

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_m &= \frac{v_f M_{TV}}{V_v} H_r - H_{m0} & : V_v > 0 \\ &= H_r - H_{m0} & : V_v < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.8.9)$$

実際の水位計の過渡状態では、この他に一次おくれ、むだ時間及び利得を考慮して次式で表わす。

$$\Delta H_{\text{meter}} = A_{\text{GHM}} \frac{1}{1 + \tau_1 S} e^{-\tau_2 S} \Delta H_m \quad (2.8.10)$$

$A_{\text{GHM}}$  は水位計の性能，取付位置等により  $\Delta H_m$ ，又は冷却材流量の関数で表わされると考えられる。

この領域の出口エンタルピ  $h_v$  は，冷却材が飽和状態のときは

$$h_v = h_f + X_v h_{fg} \quad (2.8.11)$$

であるが，未飽和状態のときは (2.6.21) 式の蒸気凝縮によるエンタルピの増加を考慮して

$$h_v = h'_{sp} e^{-\tau_v S} \quad (2.8.12)$$

$$h'_{sp} = (h_{sp} W_{fR} + h_g W_{spcond}) / W_{fsp} \quad (2.8.13)$$

$$\tau_v = \frac{M_{TV}}{W_{TV}} \quad (2.8.14)$$

## 2.9 ダウンカマ，再循環系及び炉心下部プレナム熱特性

### 2.9.1 ジェットポンプがある場合

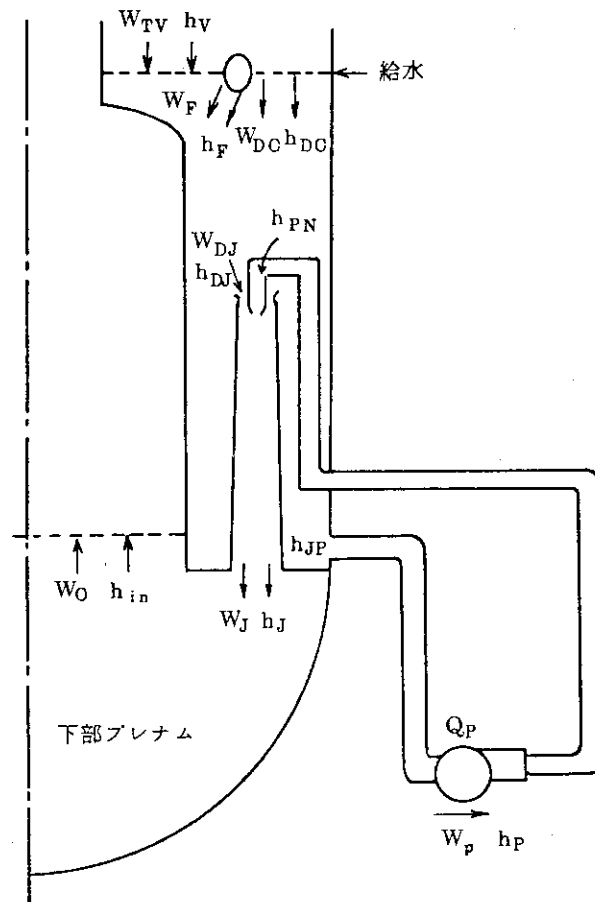


図 2.6 未飽和領域の熱特性解析モデル

給水合流部における流量  $W_{DC}$ ，エンタルピ  $h_{DC}$  は



$$W_{DC} = W_{TV} + W_F \quad (2.9.1)$$

$$h_{DC} = \frac{W_{TV} h_v + W_F h_F}{W_{DC}} \quad (2.9.2)$$

であり、給水合流部からジェットポンプ入口までの体積を  $V_{DJ}$ 、輸送遅れ時間を  $\tau_{DJ}$  とすれば

$$h_{DJ} = e^{-\tau_{DJ} S} h_{DC} \quad (2.9.3)$$

$$\tau_{DJ} = \frac{V_{DJ}}{v_{SDJ} W_{DC}} \quad (2.9.4)$$

ジェットポンプ入口部からジェットポンプの外側を通して再循環ポンプ入口までの体積を  $V_{JP}$ 、輸送おくれ時間を  $\tau_{JP}$  とすれば

$$h_{JP} = e^{-\tau_{JP} S} h_{DJ} \quad (2.9.5)$$

$$\tau_{JP} = \frac{V_{JP}}{v_{SJP} n W_P} \quad (2.9.6)$$

ここで  $n$  は再循環ループ数、 $W_P$  は1つのポンプの流量である。ポンプ出力を  $Q_P$ 、発熱に寄与する割合を  $\eta_P$  とすれば、ポンプ通過後のエンタルピ  $h_P$  は次式となる。

$$h_P = h_{JP} + \frac{\eta_P Q_P}{W_P} \quad (2.9.7)$$

再循環ポンプから出口ノズルまでの体積を  $V_{PN}$ 、輸送おくれ時間を  $\tau_{PN}$  とすれば

$$h_{PN} = e^{-\tau_{PN} S} h_P \quad (2.9.8)$$

$$\tau_{PN} = \frac{V_{PN}}{n W_P v_{SPN}} \quad (2.9.9)$$

一系統のジェットポンプに吸込まれるダウンコマ部冷却材を  $W_{DJ}$ 、ジェットポンプ出口流量を  $W_J$ 、エンタルピを  $h_J$  とすれば

$$W_J = W_{DJ} + W_P \quad (2.9.10)$$

$$h_{JO} = \frac{W_{DJ} h_{DJ} + W_P h_{PN}}{W_J} \quad (2.9.11)$$

$$h_J = e^{-\tau_J S} h_{JO} \quad (2.9.12)$$

$$\tau_J = \frac{V_J}{v_{SJ} W_J n} \quad (2.9.13)$$

下部プレナムでは冷却材はミクシングされるため一次おくれで取扱う。

$$h_{in} = \frac{1}{1 + \tau_{LP} S} h_J \quad (2.9.14)$$

$$\tau_{LP} = \frac{V_{LP}}{v_{SLP} W_O} \quad (2.9.15)$$

$$W_O = n W_J \quad (2.9.16)$$

## 2.9.2 ジェットポンプがない場合

ジェットポンプがない場合は、エンタルピの輸送経路は単一であるため、給水合流部から下部プレナム入口までをむだ時間で、下部プレナムを一次遅れで取扱う。

$$h_{in} = \frac{1}{1 + \tau_{LP} S} e^{-\tau_D S} \left( h_{DC} + \frac{\eta_P Q_P}{W_P} \right) \quad (2.9.17)$$

$$\tau_D = \left( V_{DC} + \frac{V_{FCP}}{n W_P} \right) \frac{1}{v_s (h_{DC})} \quad (2.9.18)$$

$\tau_{LP}$  は (2.9.15) 式で表わされる下部プレナムの冷却材通過時間である。

### 2.9.3 ダウンカマ及び下部プレナムの熱水力モデル

ダウンカマ及び下部プレナムの冷却材は通常運転条件下では未飽和であるが、給水流量の停止又は大幅な減少や圧力の急激な低下などにより2相流となる場合がある。このような条件下では2.5節及び2.8節で述べた熱水力モデルを適用する。まずダウンカマ部に質量、体積、エネルギーの各保存則を適用すると次式をうる。

$$\frac{h_{fg}}{v_{fg}} \{ v_f (W_{TV} + W_F - W_{TDC}) + v_{fg} (W_{gV} - W_{gDC}) \} + Q_P - D_{DC} \frac{dP}{dt} = 0 \quad (2.9.19)$$

$$D_{DC} = \left( \frac{\partial h_f}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial P} \right) M_{fDC} + \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) M_{gDC} - \frac{V_{DC}}{J} \quad (2.9.20)$$

この領域の質量は

$$M_{TDC} = \int (W_{TV} + W_F - W_{TDC}) dt \quad (2.9.21)$$

$$M_{gDC} = \frac{V_{DC} - v_f M_{TDC}}{v_{fg}} \quad (2.9.22)$$

$$M_{fDC} = M_{TDC} - M_{gDC} \quad (2.9.23)$$

平均のボイド率は

$$\alpha_{DC} = \frac{v_g M_{gDC}}{V_{DC}} \quad (2.9.24)$$

気相流量は気泡離脱速度  $u_{BDC}$  を用いると

$$W_{gDC} = \frac{\{ v_f W_{TDC} - A_{DC} (1 - \alpha_{DC}) u_{BDC} \} \alpha_{DC}}{v_g + v_{fg} \alpha_{DC}} \quad (2.9.25)$$

液相流量は  $W_{gDC}$  の符号により、正の場合、即ち上昇する場合は

$$W_{fDC} = W_{TDC} - W_{gDC} \quad (2.9.26)$$

$W_{gDC} < 0$  の場合、即ち液体と共に下降する場合は

$$W_{fDC} = (1 - X_{DC}) K_{DC} W_{TDC} \quad (2.9.27)$$

$$X_{DC} = \frac{M_{gDC}}{M_{TDC}} \quad (2.9.28)$$

$K_{DC}$  はクオリティ  $X_{DC}$  の分布を考慮した係数である。ダウンカマ出口エンタルピ  $h_{DCO}$  は次式から求める。

$$M_{TDC} \frac{\partial h_{DCO}}{\partial t} = W_{DC} (h_{DC} - h_{DCO}) + n Q_P - \frac{V_{PC}}{J} \frac{dP}{dt} \quad (2.9.29)$$

この領域の飽和度を表わす係数として  $SF_{DC}$  を出入口エンタルピから定義し、(2.9.19) 式の  $D_{DC}$  に対して乗じて用いる。

$$\left. \begin{aligned}
 SF_{DC} &= 1 && : h_P \geq h_f, h_{DCO} \geq h_f \\
 &= \frac{h_{DC} - h_f}{h_{DC} - h_{DCO}} && : h_{DC} \geq h_f, h_{DCO} < h_f \\
 &= \frac{h_{DCO} - h_f}{h_{DCO} - h_{DC}} && : h_{DC} < h_f, h_{DCO} \geq h_f \\
 &= 0 && : h_{DC} < h_f, h_{DCO} < h_f
 \end{aligned} \right\} \quad (2.9.30)$$

下部プレナムに対しても同様に、質量、体積、エネルギーの各保存則を用いると次式をうる。

$$\frac{h_{fg}}{v_{fg}} \{ v_f (W_{TDC} - W_O) + v_{fg} (W_{gDC} - W_{gD}) \} - D_{LP} \frac{dP}{dt} = 0 \quad (2.9.31)$$

$$D_{LP} = \left( \frac{\partial h_f}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_f}{\partial P} \right) M_{fLP} + \left( \frac{\partial h_g}{\partial P} - \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \frac{\partial v_g}{\partial P} \right) M_{gLP} - \frac{V_{LP}}{J} \quad (2.9.32)$$

この領域の質量は

$$M_{TLP} \int (W_{TPC} - W_O) dt \quad (2.9.33)$$

$$M_{gLP} = \frac{V_{LP} - v_f M_{TLP}}{v_{fg}} \quad (2.9.34)$$

$$M_{fLP} = M_{TLP} - M_{gLP} \quad (2.9.35)$$

平均ボイド率は

$$\alpha_{LP} = \frac{v_g M_{gLP}}{V_{LP}} \quad (2.9.36)$$

気相部の流量は気泡離脱速度  $u_{BLP}$  を用いると次式で表わされる。

$$W_{gLP} = \frac{\{ v_f W_O - A_{LP} (1 - \alpha_{LP}) u_{BLP} \} \alpha_{LP}}{v_g + v_{fg} \alpha_{LP}} \quad (2.9.37)$$

炉心入口エンタルピ  $h_{in}$  は次式から求める。

$$M_{TLP} \frac{\partial h_{in}}{\partial t} = (h_{DCO} - h_{in}) W_{TDC} - \frac{V_{LP}}{J} \frac{dP}{dt} \quad (2.9.38)$$

この領域の飽和度を表わす係数  $SF_{LP}$  は(2.9.30)式と同様に

$$\left. \begin{aligned}
 SF_{LP} &= 1 && h_{in} \geq h_f, h_{DCO} \geq h_f \\
 &= \frac{h_{in} - h_f}{h_{in} - h_{DCO}} && : h_{in} \geq h_f, h_{DCO} < h_f \\
 &= \frac{h_{DCO} - h_f}{h_{DCO} - h_{in}} && : h_{in} < h_f, h_{DCO} \geq h_f \\
 &= 0 && : h_{in} < h_f, h_{DCO} < h_f
 \end{aligned} \right\} \quad (2.9.39)$$

## 2.10 冷却材水力学特性

### 2.10.1 ジェットポンプがある場合

ジェットポンプを有する場合の冷却材水力学特性の取扱いは、再循環ポンプ水頭とジェットポンプ入口吸込み水頭との駆動源が2つ並列にあると考えて次のような回路で模擬する。

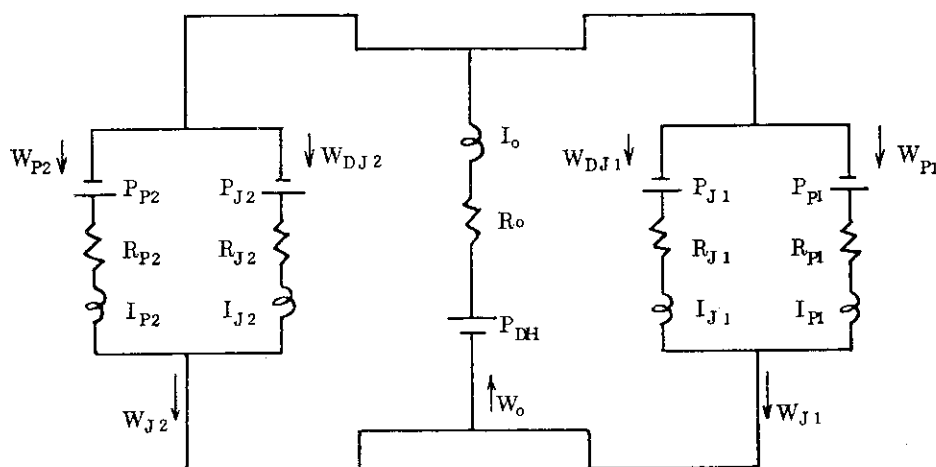


図 2.7 ジェットポンプを有する系の冷却材水力学特性解析モデル

各ループにジェットポンプが  $n_J$  個ずつあることを考慮すると次の関係式が得られる。

$$I_O \frac{dW_O}{dt} + I_{P1} \frac{dW_{P1}}{dt} = g (P_{DH} + P_{P1} - FR_O - FR_{P1}) \quad (2.10.1)$$

$$I_O \frac{dW_O}{dt} + \frac{I_{J1}}{n_J} \frac{dW_{J1}}{dt} = g (P_{DH} + P_{J1} - FR_O - FR_{J1}) \quad (2.10.2)$$

$$W_{J1} = W_{P1} + W_{DJ1} \quad (2.10.3)$$

$$I_O \frac{dW_O}{dt} + I_{P2} \frac{dW_{P2}}{dt} = g (P_{DH} + P_{P2} - FR_O - FR_{P2}) \quad (2.10.4)$$

$$I_O \frac{dW_O}{dt} + \frac{I_{J2}}{n_J} \frac{dW_{J2}}{dt} = g (P_{DH} + P_{J2} - FR_O - FR_{J2}) \quad (2.10.5)$$

$$W_{J2} = W_{P2} + W_{DJ2} \quad (2.10.6)$$

両ループの定数が等しいとし、 $I_J = \frac{I_{Ji}}{n_J}$  とおき、 $W_P$ 、 $W_{DJ}$  についてまとめると次式を得る。

$$\frac{dW_P}{dt} = g \frac{2I_O (P_P - P_J + FR_J - FR_P) + I_J (P_{DH} + P_P - FR_O - FR_P)}{2I_O (I_P + I_J) + I_P I_J} \quad (2.10.7)$$

$$\frac{dW_{DJ}}{dt} = g \frac{2I_O (P_J - P_P + FR_P - FR_J) + I_P (P_{DH} + P_J - FR_O - FR_J)}{2I_O (I_P + I_J) + I_P I_J} \quad (2.10.8)$$

ここで  $P_P$  は再循環ポンプ水頭、 $P_J$  はジェットポンプの吸込み水頭、 $P_{DH}$  は炉心下端を基準とした自然循環水頭である。 $g$  は重力の加速度、 $I$ 、 $FR$  はそれぞれ各部分の慣性モーメント及び圧力損失であり  $FR$  は次式で表わす。

$$\left. \begin{aligned} FR_O &= R_O W_O^2 \gamma \\ FR_P &= R_P W_P^2 \\ FR_J &= R_J W_{DJ}^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.10.9)$$

ここで  $\gamma$  は2相流の圧損倍率であり、炉心出口クオリティの関数として扱っている。ポンプ流量が変化すればジェットポンプの吸込み水頭が変化することから  $W_{DJ}$  が変化する。 $W_P$  と  $W_{DJ}$  との比

を

$$M = \frac{W_{DJ}}{W_P} \tag{2.10.10}$$

で表わせば、 $W_P$  と  $M$  との関係を設定値又は実測値を用いることにより、この関係が過渡状態においても成り立つとすればジェットポンプ吸込み水頭を近似的に

$$P_J = a (W_P M)^2 \tag{2.10.11}$$

として求めることができる。但し  $a$  は定数である。

### 2.10.2 ジェットポンプがない場合

ジェットポンプがなく再循環ループを複数個有する系については次のような回路で模擬する。

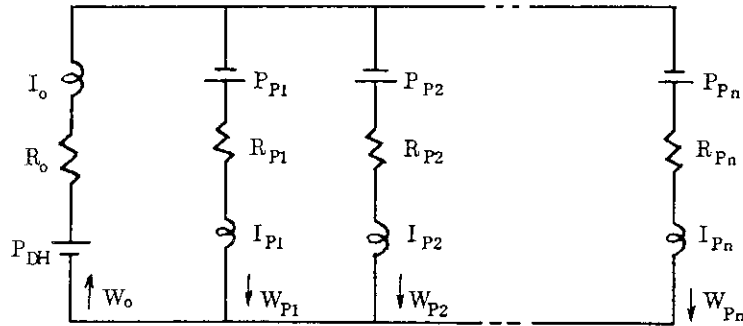


図 2.8 ジェットポンプが無い系の冷却材水力学特性解析モデル

各ループについて次式が成り立つ。

$$I_0 \frac{dW_0}{dt} + I_{P1} \frac{dW_{P1}}{dt} = g (P_{P1} + P_{DH} - FR_0 - FR_{P1}) \tag{2.10.12}$$

$$I_0 \frac{dW_0}{dt} + I_{P2} \frac{dW_{P2}}{dt} = g (P_{P2} + P_{DH} - FR_0 - FR_{P2}) \tag{2.10.13}$$

⋮

$$I_0 \frac{dW_0}{dt} + I_{Pn} \frac{dW_{Pn}}{dt} = g (P_{Pn} + P_{DH} - FR_0 - FR_{Pn}) \tag{2.10.14}$$

各ループの定数が等しいとして  $W_0$  についてまとめると次式をうる。

$$\frac{dW_0}{dt} = \frac{g (P_P + P_{DH} - FR_0 - FR_P)}{I_0 + \frac{I_P}{n}} \tag{2.10.15}$$

$$W_P = \frac{W_0}{n} \tag{2.10.16}$$

### 2.10.3 ポンプトリップ時の動特性

ポンプの駆動水頭を流量の2次式で近似し、回転数依存の形で表わすと次式をうる。

$$P_P = a v_{sp} W_P^2 + b N_P W_P + C \frac{N_P^2}{v_{sp}} \quad (2.10.17)$$

ここで  $a, b, c$  は定数で  $v_{sp}$  は流体の比容積である。慣性モーメントを  $I$ 、ポンプの理論水力トルクを  $T_{pth}$ 、全系の等価損失トルクを  $T_L$  とすれば

$$I \frac{dN_P}{dt} = -T_{pth} - T_L \quad (2.10.18)$$

$$I = \frac{2\pi}{60} \frac{GD^2}{4g} \quad (2.10.19)$$

$$T_{pth} = K_1 \frac{v_{sp} P_P W_P}{N_P} \quad (2.10.20)$$

$$T_L = K_2 \frac{N_P^{m-1}}{N_P^*} E_L \quad (2.10.21)$$

ここで  $K_1, K_2$  は定数であり、 $GD^2$  は全系のはずみ車効果、 $E_L$  は定格運転状態における全系の電氣的損失、また、 $m$  は損失が回転数の  $m$  乗に比例するとしたときの定数である。これらの式を用いて  $P_P$  が求めれば各流量を求めることができる。但し、ジェットポンプの吸込み水頭は (2.10.11) 式から求める。

#### 2.10.4 再循環流量制御系

再循環流量による出力の制御は BWR の顕著な特徴の 1 つであり、制御方式には 2 つの型がある。1 つは MFG (Motor Fluid-cuppled Generator) による流体継手のすべりを利用したポンプ回転数制御であり、他方はポンプ回転数一定で再循環パイプの弁開度制御方式である。これらの制御系を直接模擬することは各機器の特性が入手困難なことなどにより図 2.9 に示すように、簡単な実効的な形で模擬することを試みる。

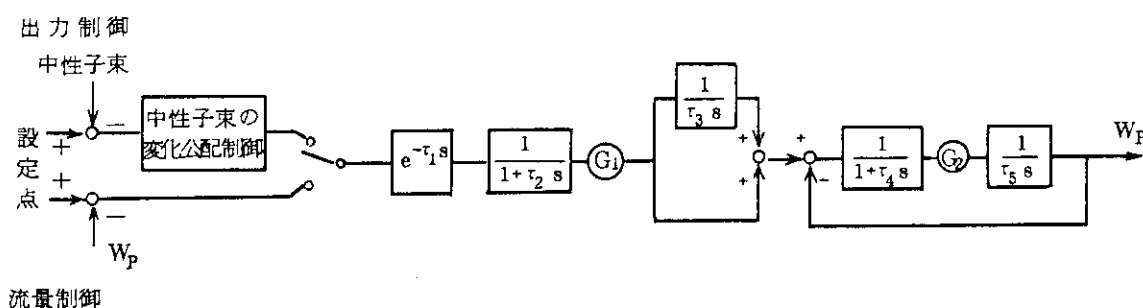


図 2.9 再循環流量制御系のブロックダイアグラム

#### 2.11 蒸気系統動特性

##### 2.11.1 原子炉ベッセルより流出する蒸気流量

原子炉ベッセルより流出する全蒸気流量  $W_S$  はタービン、バイパス弁、逃し弁、安全弁、非常用復水器の流量をそれぞれ  $W_{ST}, W_{SB}, W_{SRF}, W_{SSV}, W_{SEC}$  とすれば

$$W_S = W_{ST} + W_{SB} + W_{SRF} + W_{SSV} + W_{SEC} + W_{LOSS} \quad (2.11.1)$$

ここで  $W_{LOSS}$  は系の熱損失を蒸気流量に換算したものである。

### 2.11.2 主蒸気管による圧力降下

一般の発電用プラントの場合、主蒸気管の長さは約 100 ~ 150 m であり、この長さは、蒸気中の音速に対して比較的短いのでパイプ内の圧力分布がただちに平衡に達するものとして圧力降下のみを考慮する。また主蒸気隔離弁による圧力降下の効果を  $V_{ISO}$  で表わすと、タービン入口圧力  $P_T$  は

$$P_T = \{ V_{ISO} (P+1) - 1 \} - a \Delta P_T^* (W_{ST} + W_{SB})^2 \quad (2.11.2)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{ISO} = 1 & : \text{全開} \\ = f_{V_{ISO}}(t) & : \text{閉進行中} \\ = 0 & : \text{全閉} \end{aligned} \right\} \quad (2.11.3)$$

ここで  $\Delta P_T^*$  は定格出力時のパイプによる圧力降下であり、 $a$  は定数である。

### 2.11.3 主蒸気管部の動特性

原子炉ベッセル出口からタービン入口までの主蒸気管部における蒸気の挙動が原子炉動特性に影響を及ぼす場合を考慮して次のようなモデルを取入れる。

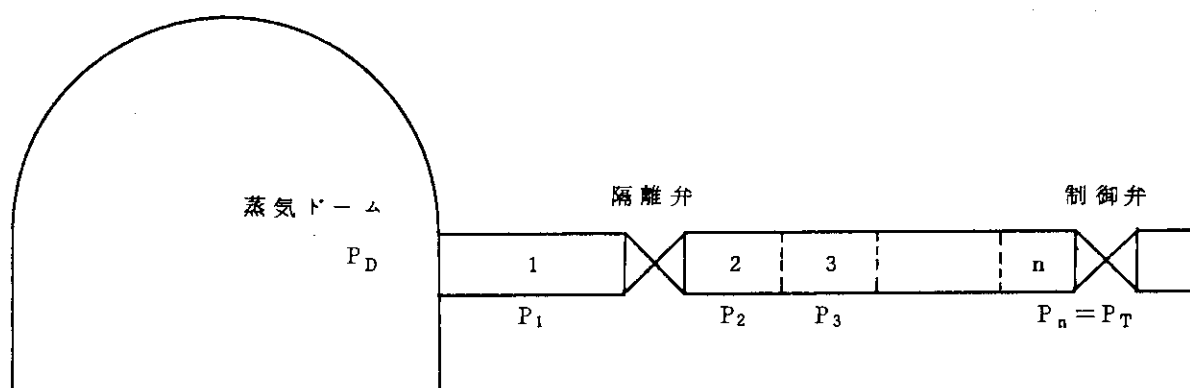


図 2.10 主蒸気管部動特性モデル

ベッセル出口から隔離弁までを一領域とし、隔離弁からタービン入口制御弁までを  $n$  等分する。また、逃し弁、安全弁の流量はドーム圧  $P_D$  を用いて計算し、領域 1 では枝管はないとし、バイパス弁は最終領域に含めて取扱う。

質量、体積の保存則を用いると

$$\frac{\partial M_{Si}}{\partial t} = W_{Si-1} - W_{Si} \quad (2.11.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} V_{Si} = \frac{\partial}{\partial t} (M_{Si} v_{gi}) = v_g \frac{\partial M_{Si}}{\partial t} + M_{Si} \frac{\partial v_g}{\partial P} \frac{dP}{dt} = 0 \quad (2.11.5)$$

これらの式から

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{v_{gi}^2}{\frac{\partial v_g}{\partial P} V_{Si}} (W_{Si} - W_{Si-1}) \quad (2.11.6)$$

パイプ内の蒸気流量は、モーメントの式から圧損  $FR_{Si}$ 、定数  $K_{Si}$  を用いて表わせば

$$\frac{dW_{Si}}{dt} = K_{Si} (P_{i-1} - P_i - FR_{Si}) \quad (2.11.7)$$

但し、最終領域の蒸気流量は次節でのべる方法により決定される。

#### 2.11.4 タービン蒸気流量と圧力制御系

タービン制御弁の開度と蒸気流量とは直線的であり、同一開度では蒸気流量はタービンの入口圧力と背圧の差圧に比例するので次のように表わす。

$$W_{ST} = K_{ST} (V_{TO}) \frac{P_{TA} + 1}{P_{TA}^* + 1} \quad (2.11.8)$$

$$P_{TA} = (V_{MSV}) (P_T + 1) - 1 \quad (2.11.9)$$

ここで  $K_{ST}$  は定数、 $(V_{TO})$ 、 $(V_{MSV})$  はそれぞれタービン制御弁、主塞止弁の開度であり、 $P_T$ 、 $P_{TA}$  はそれぞれタービン入口圧力、主塞止弁下流の圧力である。また、 $(V_{MSV})$  は通常1秒以下の極めて短時間に全閉となる。

$$\left. \begin{aligned} (V_{MSV}) &= 1.0 && : \text{ (全開)} \\ &= f_{ST}(t) && \\ &= 0 && : \text{ (全閉)} \end{aligned} \right\} \quad (2.11.10)$$

タービン制御弁開度はMPR、EPR等の圧力制御系により決定され、次のような伝達関数で模擬する。

$$(V_{TO}) = G_T \frac{1 + \tau_3 S}{(1 + \tau_1 S)(1 + \tau_2 S)} e^{-\tau_4 S} (P_{TA} - P_{TSP}) \quad (2.11.11)$$

#### 2.11.5 タービンバイパス弁蒸気流量

タービンバイパス弁はタービン主塞止弁の上流側にあり、弁はON-OFF式の場合と流量制御弁の場合とがある。前者の場合、蒸気流量  $W_{SB}$  は

$$W_{SB} = K_{SB} (V_{SB}) \frac{P_T + 1}{P_T^* + 1} \quad (2.11.12)$$

ここで  $K_{SB}$  は定数であり  $(V_{SB})$  はバイパス弁開度である。

$$\left. \begin{aligned} (V_{SB}) &= 1 && : \text{ 全開 } P_T > P_{BSET} \\ &= 0 && : \text{ 全閉 } P_T \leq P_{BSET} \end{aligned} \right\} \quad (2.11.13)$$

後者の場合は制御弁開度は次式で表わす。

$$(V_{SB}) = G_B \frac{1}{1 + \tau_B S} (P_T - P_{BSET}) \quad (2.11.14)$$



## 2.11.6 逃し弁及び安全弁の流量

逃し弁及び安全弁は作動時の吹出し圧、吹止り圧の同じ弁を同一群として扱う。定格圧力時の流量を基準として（\*印で表わす）次式で表わす。

$$W_{SRF} = W_{SRF}^* \frac{P_D + 1.0}{P_D^* + 1.0} \quad (2.11.15)$$

$$W_{SSV} = W_{SSV}^* \frac{P_D + 1.0}{P_D^* + 1.0} \quad (2.11.16)$$

## 2.11.7 隔離用（非常用）復水器

隔離用（非常用）復水器の定格圧力に対する除熱量を  $Q_{EC}$ 、弁流量特性を  $V_{EC}$  とし、圧力変化に対する流量の変化を考慮すると蒸気流量  $W_{SEC}$  は

$$W_{SEC} = Q_{EC} \frac{T_{sat} - T_{s2}}{T_{sat}^* - T_{s2}} \frac{V_{EC}}{h_{fg}} \quad (2.11.17)$$

ここで  $T_{sat}$  は飽和温度、\*印は定格圧力時、 $T_{s2}$  は復水器の2次側温度である。 $V_{EC}$  は

$$\begin{aligned} V_{EC} &= 0 && : \text{弁全閉} \\ &= f_{EC}(t) && : \text{信号 ON 後のむだ時間, 弁開度} \\ &&& \text{特性等を時間の関数で表わす} \\ &= 1 && : \text{実効的に全開の状態} \end{aligned} \quad (2.11.18)$$

## 2.12 給水系統動特性

## 2.12.1 原子炉給水制御系

給水流量の制御は通常、蒸気流量、給水流量及び水位をセンサーとする3要素制御であるが、これには2つの型がある。1つは電動機駆動による給水流量を弁開度で制御する方式であり、他は弁開度は一定でタービン駆動給水ポンプの回転数制御による方式である。

これらを実効的な形で模擬したのが図2.11である。後者は給水ポンプがトリップした場合、予備ポンプが前者の型であるため、両者を同時に使うモデルも取入れてある。

## 2.12.2 原子炉給水エンタルピ

給水エンタルピは給水流量又は給水ヒーターへの蒸気流量が変化したときにかわるが、その時定数が大きいいため次の形で表わす。

$$h_F = \frac{1}{1 + \tau_1 S} e^{-\tau_2 S} h_{FO}$$

$h_{FO}$  は定常状態の各出力レベルにおける給水エンタルピで給水流量の関数として表わす。

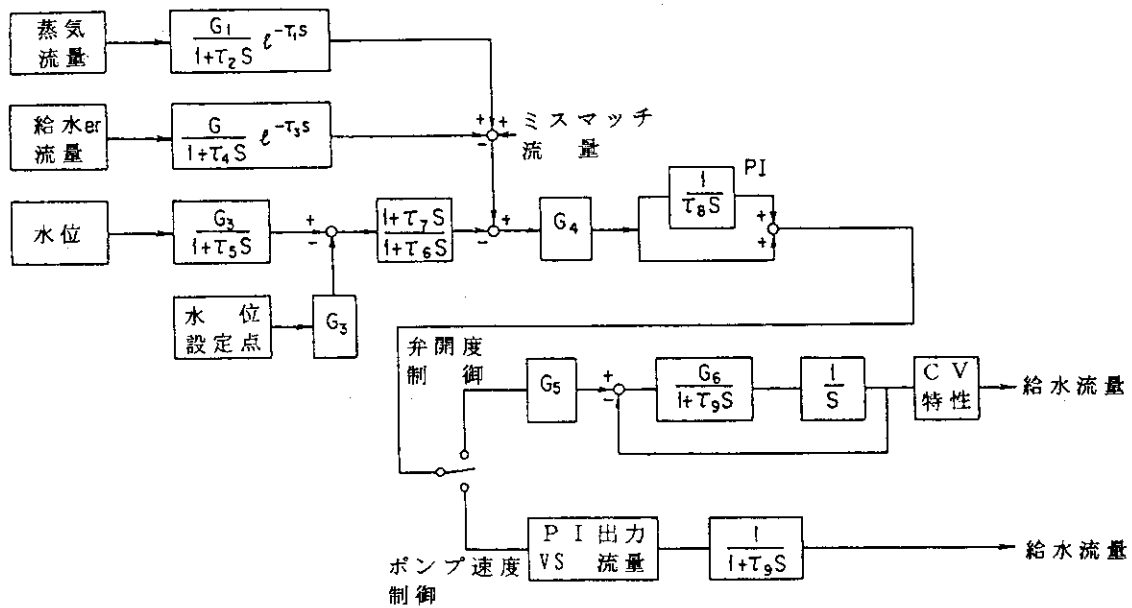


図 2.11 給水制御系を模擬したブロックダイアグラム

2.13 燃料棒に対する熱的余裕の評価

ホットチャンネルにおける燃料棒の熱的余裕を計算するために、このコードでは、2.3節と2.4節でのべたモデルにホットチャンネルの定数を入力して表面熱流束、燃料温度等を求めている。最小限界熱流束比 (MCHF R) の計算には Hench - Levy の式<sup>(10)</sup>を用いており、これは次式で表わされる。

$$\begin{aligned}
 q_B &= 1.1 - 0.1 q_p P & : & X \leq X_1 \\
 &= q_p (1.9 - FG - 3.3 X) & : & X_1 < X \leq X_2 \\
 &= q_p (0.6 - GG - 0.7 X) & : & X_2 < X
 \end{aligned}$$

$$q_p = \left( \frac{P - 600}{400} \right)^{1.25}$$

$$FG = 0.70 \tan h^2 3G$$

$$GG = 0.09 \tan h^2 2G$$

$$X_1 = (0.9 - FG) / 3.3$$

$$X_2 = (1.3 - FG + GG) / 2.6$$

G は  $10^{-6}$  lb/ft<sup>2</sup> hr の単位で表わされるチャンネル単位面積当りの重量流量、P は psi 単位の圧力、X はクオリティの絶対値、q<sub>B</sub> は  $10^6$  BTU/ft<sup>2</sup> hr 単位の限界熱流束である。

2.14 自然循環状態での炉内冷却水逆流モデル

再循環ポンプが停止し、さらに給水流量の減少等によりダウンコマ水位が著しく低下した場合には冷却水駆動水頭が喪失し、シュラウド内側の水がシュラウド外側へ逆流する。その結果冷却

水はセパレータを通過することなく、ジェットポンプを通してのみ、シュラウドの内側と外側へ出入りする。このときの現象を簡単にモデル化するため下図に示すような4種類のタイプを想定し、冷却水の状態によって使いわける方式を採用している。

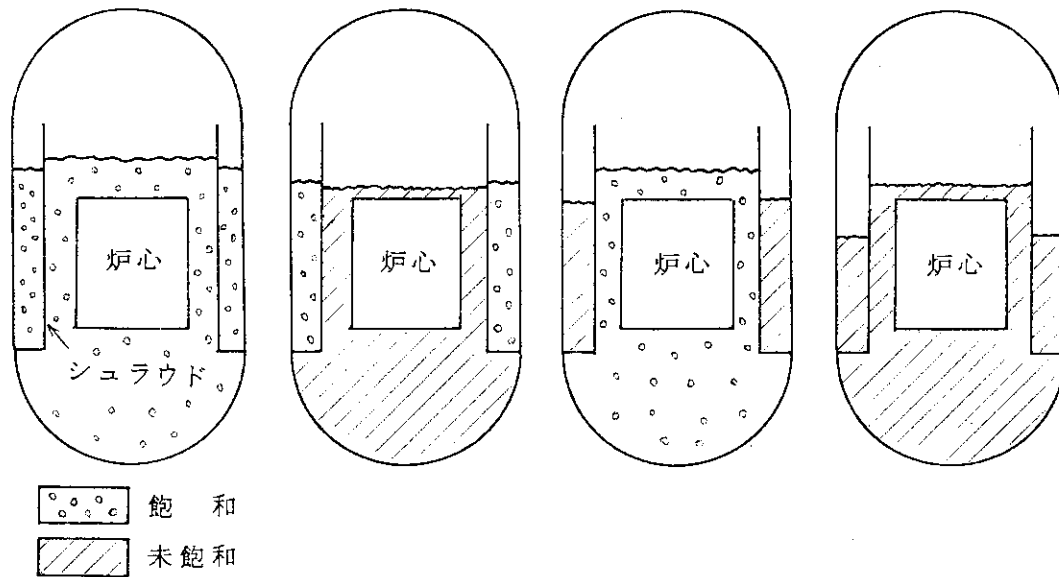


図 2.12 炉心冷却水逆流時の解析モデル

### 3. 2次系の解析モデル

本章で取扱う2次系は、図1.1で示すタービン入口から給水ヒータ出口までであり、その概要を図3.1に示す。即ち、主要機器は高圧タービン、低圧タービン、湿分分離器、コンデンサ、低圧給水ヒータ及び高圧給水ヒータである。

#### 3.1 タービン系モデル

##### 3.1.1 抽気蒸気流量

タービンから給水ヒータへの抽気蒸気流量は次式で模擬する。

$$W_{exi} = C_i \sqrt{P_{exi} - P_{HTj}} \quad (3.1.1)$$

ここで

$W_{exi}$  :  $i$  段目の抽気蒸気流量

$C_i$  : 流量係数

$P_{exi}$  :  $i$  段目の抽気蒸気圧力

$P_{HTj}$  :  $j$  番目の給水ヒータ内圧力

低圧タービンに流入する蒸気流量  $W_{SLTi}$  は

$$W_{SLTi} = C_{LTi} V_{CIV} P_{LTi} \quad (3.1.2)$$

ここで

$C_{LT}$  : 流量係数

$V_{CIV}$  : インターセプト弁開度

$P_{LTi}$  : 低圧タービン入口圧力

高圧タービンの排気圧力  $P_{HTE}$  は、排気部に圧力ノードを仮定し、質量保存則及び理想気体を仮定して次式から求める。

$$\frac{dM_{HT}}{dt} = W_{SHTE} - W_{SLTi} \quad (3.1.3)$$

$$P_{HTE} = \frac{M_{HT}}{V_{HTE}} RT - 1.03 \quad (3.1.4)$$

$V_{HTE}$  : 高圧タービン排気部体積

$R$  : 気体定数

$T$  : 絶対温度

タービン内の各段の抽気流量  $W_{EXi}$  は Stodola の式<sup>(13)</sup> により

$$W_{EXi} = C_{EXi} \sqrt{g \frac{P_{EXi}^2 - P_{EXi+1}^2}{P_{EXi} v_{gi}}} \quad (3.1.5)$$

で表され、これより第  $i$  段の抽気圧力  $P_{EXi}$  を求めると

$$P_{EXi} = \frac{W_{EXi}^2 v_{gi} + \sqrt{W_{EXi}^4 v_{gi}^2 + 4 C_{EXi}^4 P_{EXi+1}^2}}{2 C_{EXi}^2 g} \quad (3.1.6)$$

ここで

- g : 重力加速度
- $v_{gi}$  : i 段の蒸気比容積
- $C_{EX}$  : 流路系数

タービン内第 i 段から第 i+1 段への抽気エンタルピは断熱熱落差を仮定し、蒸気エンタルピ-エントロピ (h-S) 線図を用いて求める。

### 3.1.2 タービン・発電機出力

タービン出力は、各段を通る蒸気流量と出入口エンタルピの差の積の総和として求めることができる。

$$T_O = \sum W_i (h_i - h_{i+1}) \quad (3.1.7)$$

発電機出力はタービン出力から損失分を差引いたもので、過渡時には一次遅れ時定数を用いて表わす。

$$T_E = \frac{1}{1 + \tau_i S} (T_O - T_{LM} - T_{LE}) \quad (3.1.8)$$

ここで  $T_{LM}$ ,  $T_{LE}$  はそれぞれ機械的及び電氣的損失である。

タービン解列時の回転数は、タービン軸に関する角速度の式より次式となる。

$$I \frac{d\omega}{dt} = T \quad (3.1.9)$$

$$E_R = T_O - T_E - T_{LE} - T_{Ln} = \omega T \quad (3.1.10)$$

ここで T : トルク

I : タービン発電機慣モーメント

$\omega$  : 角速度

$E_R$  : 回転エネルギー

上の2式より求めた角速度  $\omega$  から回転数及び周波数を次式より得る。

$$N_{TB} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{RPM}) \quad (3.1.11)$$

$$f = \frac{a N_{TB}}{60} \quad (\text{Hz}) \quad (3.1.12)$$

ここで a は発電機の対極数である。

## 3.2 湿水分離器モデル

湿水分離器 (Moisture Separator) は高圧タービンからの排気蒸気の湿水分離を行い低圧タービンへ送るための装置であり図 3.2 に示したの横型湿水分離器の解析モデルである。ここでは非再熱器型を取り扱っているため質量保存則と圧力損失のみを考慮する。また器内で分離され

る湿分は流入蒸気流量に比例すると仮定する。分離された湿分はドレンタンクに流入する。流入ドレンタンク流量  $W_{MSDi}$  は、分離比例係数を  $a_{MSD}$  とすれば、入口流量  $W_{MSi}$  から

$$W_{MSDi} = a_{MSD} W_{MSi} \quad (3.2.1)$$

となり入口流量は、インタセプト弁開度  $V_{CIV}$  の関数として表わされる出口流量により次式から求めることができる。

$$W_{MSi} = W_{MSPi} + V_{CIV} W_{MSO} \quad (3.2.2)$$

出口圧力  $P_{MSO}$  は入口圧力  $P_{MSi}$  から圧力損失を考慮して

$$P_{MSO} = P_{MSi} - a_{MSP} W_{MSi}^2 \quad (3.2.3)$$

で表わされる。 $a_{MSP}$  は損失係数である。

ドレン水位  $L_{MSD}$  は質量保存則から求めたドレン質量  $M_{MSD}$  と体積  $V_{MSD}$  から

$$\frac{dM_{MSD}}{dt} = W_{MSDi} - W_{MSDO} \quad (3.2.4)$$

$$L_{MSD} = \frac{M_{MSD} v_s}{A_{MSD}} \quad (3.2.5)$$

$$A_{MSD} = f(L_{MSD}) \quad (3.2.6)$$

ドレン平均エンタルピ  $h_{MSD}$  は次式より求める。

$$\frac{d}{dt} (M_{MSD} h_{MSD}) = W_{MSDi} h_{MSDi} - W_{MSDO} h_{MSD} \quad (3.2.7)$$

### 3.3 主復水器モデル

主復水器 (Main Condenser) のモデルでは、復水は飽和と仮定し、復水温度から圧力を求める。まず、復水の質量  $M_{CON}$  は質量保存則から

$$\frac{d}{dt} M_{CON} = W_{CONi} + W_{FHDO} + W_{SBV} + W_{ATH} - W_{CONO} \quad (3.3.1)$$

$$V_{CON} = M_{CON} v_f \quad (3.3.2)$$

ホットウェル水位  $L_{CON}$  は復水体積  $V_{CON}$  より求める。

$W_{CONi}$  : 低圧タービン排気蒸気流量

$W_{CONO}$  : 復水器からの復水流量

$W_{FHDO}$  : 給水ヒータドレン流量

$W_{ATH}$  : その他からのドレン流量

エネルギー保存則より復水温度は

$$C_{PCON} M_{CON} \frac{dT_{CON}}{dt} = W_{CONi} h_{CONi} + W_{FHDO} h_{FHDO} + W_{ATHC} h_{ATHC} - W_{CONO} h_{CONO} + W_{SBV} h_{SBV} - Q_{SON} \quad (3.3.3)$$

ここで  $C_{PCON}$  は復水比熱、 $h_{CONi}$ 、 $h_{CONO}$  はそれぞれ復水器入口及び出口エンタルピ、 $h_{FHDO}$ 、 $h_{ATHC}$  は給水ヒータドレンエンタルピ及び他のドレンエンタルピである。 $Q_{CON}$  は復水冷却水による除熱量であり次式で表わす。

$$Q_{CON} = H_{TRN} A_{TRN} (T_{CON} - T_{CWAV}) \quad (3.3.4)$$

ここで  $H_{TRN}$ ,  $A_{TRN}$  は冷却水に対する熱伝達系数, 伝熱面積であり,  $T_{CWAV}$  は冷却水の出入口温度  $T_{CW_i}$  と  $T_{CWO}$  の相加平均である。冷却水出口温度は定常ヒートバランスに冷却水通過時間を考慮して

$$T'_{CWO} = T_{CW_i} + \frac{Q_{CON}}{W_{CW}} \quad (3.3.5)$$

$$T_{CWO} = \frac{1}{1 + \tau_{CW} S} T'_{CWO} \quad (3.3.6)$$

ここで  $W_{CW}$  は冷却水流量であり, 通過時間  $\tau_{CW}$  は  $W_{CW}$  の関数である。

### 3.4 給水ヒータモデル

給水ヒータの熱水力モデルはヒータの胴側（加熱側）とチューブ側（給水側）について次のように質量及びエネルギー保存則を用いる。

加熱側の熱水力モデルでは図 3.3 に示すように蒸気凝縮ゾーン（Condensing Zone）及び冷却ゾーン（Cooling Zone）の 2 つに分けて取り扱う。凝縮ゾーンに対して質量, エネルギー保存則を用いると次式を得る。

$$\frac{d}{dt} M_{FHD} = W_{FHi} + W_{FHDi} - W_{FHDO} - W_{FHR} \quad (3.4.1)$$

$$\frac{d}{dt} (M_{FHD} h_{FHD}) = W_{FHi} h_{FHi} + W_{FHDi} h_{FHDi} - W_{FHDO} h_{FHD} - W_{FHR} h_g - Q_{FHD} \quad (3.4.2)$$

$$Q_{FHD} = HA (T_{FHD} - T_{FWO}) \quad (3.4.3)$$

この領域では常に飽和状態であると仮定し, 圧力はエンタルピ  $h_{FHD}$  より蒸気表により求める。又, ドレン水位は, 入力データにより与えられる水位と体積の関係から求める。なお, ドレン流入流量  $W_{FHDi}$  は前段ヒータからの流量であり, 第 1 段ヒータでは零である。

冷却ゾーンでは次式を用いる。

$$\frac{d}{dt} (M_{FHC} h_{FHC}) = W_{FHDO} (h_{FHO} - h_{FHC}) - Q_{FHC} \quad (3.4.4)$$

$$Q_{FHC} = HA (T_{FHC} - T_{FWi}) \quad (3.4.5)$$

チューブ内の給水エンタルピの計算には, 加熱側の冷却ゾーンと凝縮ゾーンとに接しているところで 2 領域に分割して取り扱う。冷却ゾーン入口エンタルピの  $h_{WF1}$  ( $i$  段とする) の前段ヒータ ( $i-1$ ) の出口エンタルピ  $h_{WF3}$  にむだ時間  $\tau_i$  を用いて

$$h_{WF1.i} = e^{-\tau_i S} h_{WF3.i-1} \quad (3.4.6)$$

冷却ゾーン出口エンタルピ  $h_{WF2}$  は

$$M_{FW2.i} \frac{d h_{WF2.i}}{dt} = W_{FW} (h_{WF1.i} - h_{WF2.i}) + Q_{FHC} \quad (3.4.7)$$

凝縮ゾーン出口エンタルピ  $h_{WF3}$  は

$$M_{FW3-i} \frac{d h_{WF3-i}}{dt} = W_{FW} (h_{WF2-i} - h_{WF3-i}) + Q_{FHD} \quad (3.4.8)$$

ここで  $M_{FW2}$ ,  $M_{FW3}$  はそれぞれ冷却ゾーン, 凝縮ゾーンの給水質量である。

加熱器内のドレン水位は, ドレン出口にある弁開度を調節することにより一定レベルに制御され, それを図 3.4 に示すブロックダイアグラムで模擬している。なお, この図に模擬されている制御方式は 3.2 節で述べた湿水分離器のドレン水位制御に対しても用いている。



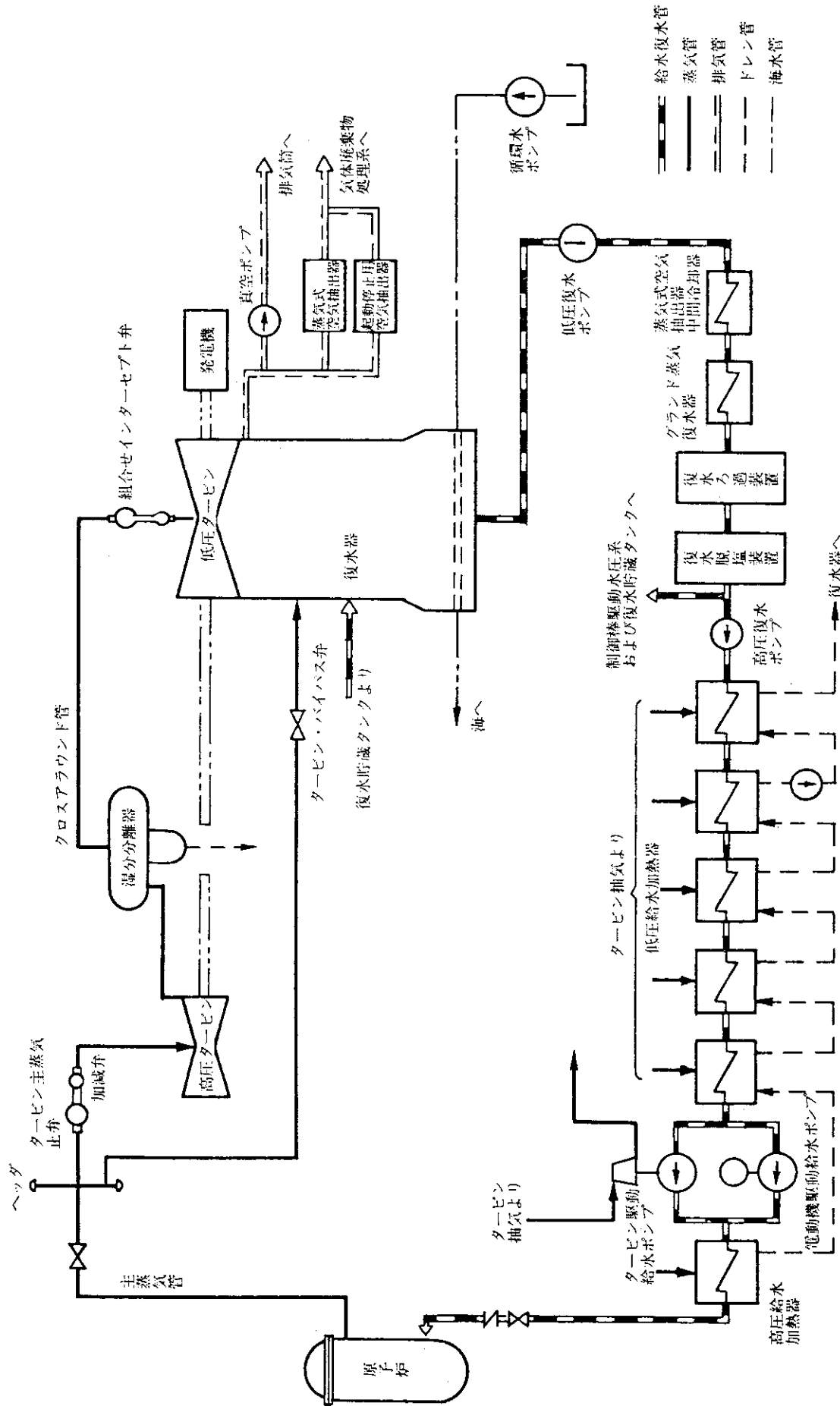


図 3.1 タービン設備系統概要例 [文献 (12) による]

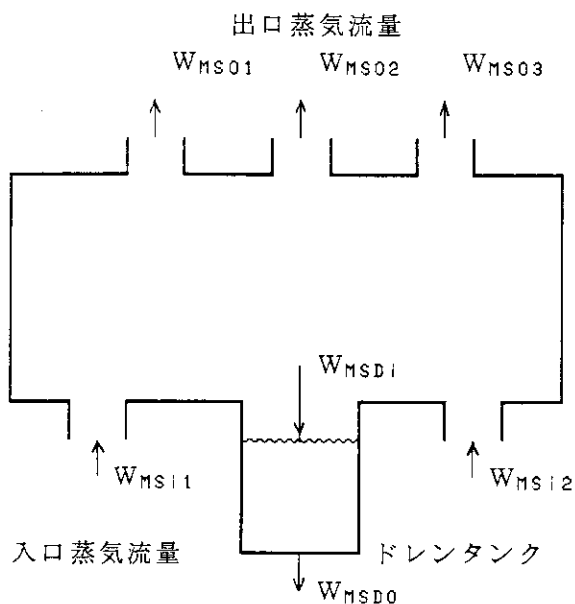


図 3.2 湿分分離器の解析モデル

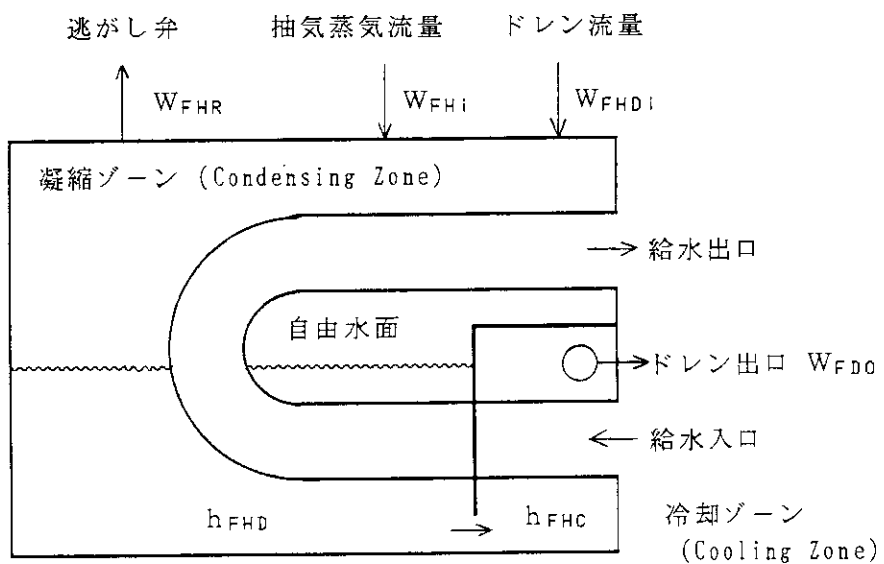


図 3.3 給水加熱器モデル

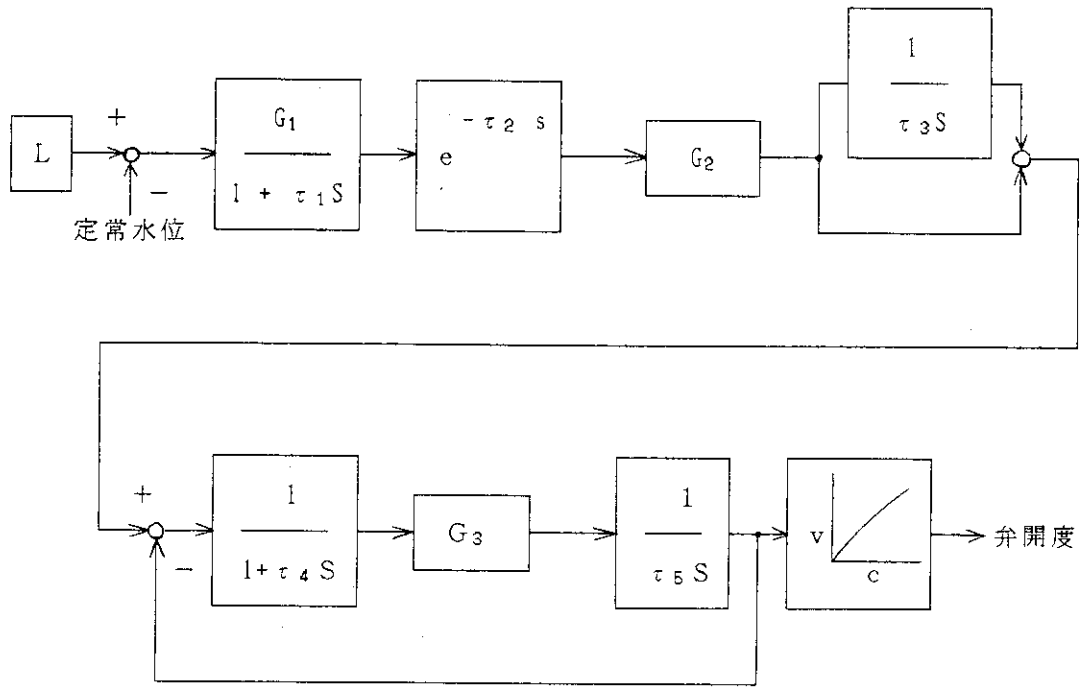


図 3.4 水位制御用ブロックダイアグラム

## 4. 数 値 解 法

### 4.1 初期値の計算法

計算条件に応じた初期値を算出するときの基準となる定格出力時の熱バランスを入力データ（次章参照）から再計算する、その方法は炉心入口エンタルピの値  $hin\ 1$  を仮定し、そのエンタルピを用いて流路にそって炉心、上部プレナム、セパレータ、ベッセル飽和水領域及び再循環ポンプ発熱などを考慮して求めた入口エンタルピ  $hin\ 2$  とから、

$$\left| \frac{hin\ 1 - hin\ 2}{hin\ 2} \right| < \epsilon \quad (4.1.1)$$

となるまで  $hin\ 1 = (hin\ 1 + hin\ 2) / 2$  としてくり返し計算を行っている。このとき再循環流量、熱出力は入力値に固定され、蒸気流量、給水流量が修正される。

こうして求めた基準値を基に任意の出力、再循環流量下における初期値を計算する。その方法は前述と同様に入口エンタルピの収束計算による。入口エンタルピが求まれば他の量は一意に決定される。なお、添付の入力側では  $\epsilon = 10^{-5}$  とした場合くり返し回数は6回である。

2次系における初期値は1次系の初期値から与えられるタービン入口蒸気流量及び給水流量を境界条件として、タービン各段の圧力や給水ヒーターのヒートバランス等タービン入口から原子炉入口までの流路に沿って計算しながら発電機出力が一定値になるまでくり返すことにより求められる。発電機出力を  $Ge$ 、くり返し回数を  $i$  とすれば

$$\left| \frac{Ge_{i-1} - Ge_i}{Ge_i} \right| < \epsilon \quad (4.1.2)$$

2次系の初期値は微分方程式の定常項からではなく、時間項も含めて収束計算を行っており、 $\epsilon = 10^{-5}$  とすると添付計算例ではくり返し回数140回である。

### 4.2 各領域の流量、圧力及び体積変化率の計算法

飽和領域における出入口流量及び圧力、体積変化率の解を正確にし、計算時間の短縮を計るため、 $W_{TC}$ ,  $W_{gC}$ ,  $W_{fC}$ ,  $W_{gCR}$ ,  $W_{fCR}$ ,  $W_{TR}$ ,  $W_{gR}$ ,  $W_{fR}$ ,  $W_{gD}$ ,  $W_{fsp}$ ,  $\dot{V}_v$ ,  $\dot{P}$  の12変数に係わる式を12元連立1次方程式とみなして解く。この解は当所計算センター内蔵のサブルーチン「CROUT」<sup>(8)</sup> を使って求める。炉心チャンネル領域ではノード分割しているが、隣接ノードとの関係式を加え合えると飽和領域に関して1つの式で表わすことができる。

$$\frac{h_{fg}}{v_{fg}} \{ v_f (W_{OL} - W_{TC}) - v_{fg} W_{gC} \} + Q_b - D_c \frac{dP}{dt} = 0 \quad (4.2.1)$$

ここで、

$$W_{TC} = W_{jMAX}, \quad W_{gC} = W_{gjMAX}, \quad Q_b = \sum_{j=1}^{jMAX} Q_{Cj} (SF_C)_j, \quad D_c = \sum_{j=1}^{jMAX} D_j (SF_C)_j$$

である。

流量を定格値（\*印で表わす）に対して規格化し、クオリティを%単位で表わし、圧力、体積の変数を  $\text{kg/cm}^2$ 、 $\text{g}$ 、 $\text{m}^3$  の単位で [ ] の記号を用いて表わすとマトリックス表示は次のようになる。

2.9.3節で述べたようにダウンコマ及び下部プレナムの冷却水が飽和になった場合には自由水面領域出口流量 ( $W_{TV}$ ) を変数として加え 13 元としている。

$1$	$A_{1-2}$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{11-2}$
$A_{1-2}$	$1$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$A_{3-1}$	$A_{3-2}$	$1$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$0$	$A_{4-2}$	$0$	$1$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$A_{5-1}$	$0$	$0$	$A_{5-4}$	$1$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$0$	$0$	$0$	$A_{6-4}$	$A_{6-5}$	$1$	$A_{6-7}$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{6-12}$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{7-6}$	$1$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{8-6}$	$A_{8-7}$	$1$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{9-7}$	$A_{9-8}$	$1$	$0$	$0$	$0$	$A_{9-12}$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{10-9}$	$1$	$0$	$0$	$A_{10-12}$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{11-7}$	$0$	$A_{11-9}$	$0$	$1$	$A_{11-12}$	$1$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$A_{12-10}$	$A_{12-11}$	$1$

$[ W_{TC} ]$	$[ W_{GC} ]$	$[ W_{FC} ]$	$[ W_{GR} ]$	$[ W_{fCR} ]$	$[ W_{TR} ]$	$[ W_{GR} ]$	$[ W_{fR} ]$	$[ W_{fsp} ]$	$[ W_{GD} ]$	$[ \dot{V}_v ]$	$[ \dot{P} ]$
$[ W_{OC} ] + \frac{v_{fg} Q_b}{v_f W_{TC}} [ W_{TC} ]$	$C_{gc2} (1 - K_{cs}) / W_{GC} [ W_{GC} ]$	$0$	$-\frac{K_{GR} W_{OL}^*}{h_{fg} W_{GR}^*} [ \Delta h_{sc} ] [ W_{OL} ]$	$\frac{W_{OL}^*}{W_{fCR}} [ W_{OL} ]$	$0$	$C_{gr2} (1 - K_{RS}) + \frac{K_{RS}}{100} [ X_R ]$	$0$	$-\frac{M_{fsp}}{W_{fsp}} [ W_{fsp} ]$	$0$	$-\frac{h_{fg}}{v_{fg} D_D} \{ v_g W_S^* ( [ W_S ] ) + [ W_{SPcond} ] + [ W_{SPcond} ] + [ \dot{V}_{sp} ] \}$	$0$

ここで係数行列のうち  $A_{ij}$  は次式である。

$$A_{1.2} = \frac{W_{gC}^*}{W_{TC}^*}$$

$$A_{1.12} = \frac{v_{fg} D_C}{h_{fg} v_f W_{TC}^*}$$

$$A_{1.2} = - \left\{ \frac{[X_c]}{100} K_{cs} + C_{gcl} (1 - K_{cs}) \right\} \frac{W_{TC}^*}{W_{gC}^*}$$

$$A_{3.1} = - \frac{W_{TC}^*}{W_{fC}^*}$$

$$A_{3.2} = \frac{W_{gC}^*}{W_{fC}^*}$$

$$A_{4.2} = - K_{gCR} \frac{W_{gC}^*}{W_{gCR}^*}$$

$$A_{5.1} = - \frac{W_{TC}^*}{W_{fCR}^*}$$

$$A_{5.4} = \frac{W_{gCR}^*}{W_{fCR}^*}$$

$$A_{6.4} = - \frac{W_{gCR}^*}{W_{TR}^*}$$

$$A_{6.5} = - \frac{W_{fCR}^*}{W_{TR}^*}$$

$$A_{6.7} = \frac{v_{fg} W_{gR}^*}{v_f W_{TR}^*}$$

$$A_{6.12} = \frac{D_R v_{fg}}{h_{fg} v_f W_{TR}^*}$$

$$A_{7.6} = C_{gR1} (1 - K_{RS}) \frac{W_{TR}^*}{W_{gR}^*}$$

$$A_{8.6} = - \frac{W_{TR}^*}{W_{fR}^*}$$

$$A_{8.7} = \frac{W_{gR}^*}{W_{fR}^*}$$

$$A_{9.7} = (K_{csp} - 1) \frac{W_{gR}^*}{W_{fsp}^*}$$

$$A_{9.8} = - \frac{W_{fR}^*}{W_{fsp}^*}$$

$$A_{9.12} = - \frac{K_{csp} D_{sp}}{W_{fsp}^*}$$

$$A_{10.7} = -K_{gD} K_{csp} \frac{W_{gR}^*}{W_{gD}^*}$$

$$A_{10.9} = K_{gD} \frac{[X_{cu}]}{100 - [X_{cu}]} \frac{W_{fsp}^*}{W_{gD}^*}$$

$$A_{10.12} = K_{gD} K_{csp} D_{sp}$$

$$A_{11.7} = (K_{gD} - 1) K_{csp} v_g W_{gR}^*$$

$$A_{11.9} = - \left( v_f + v_g \frac{[X_{cu}]}{100 - [X_{cu}]} \right) W_{fsp}^*$$

$$A_{11.12} = \frac{v_{fg}}{h_{fg}} D_v + (1 - K_{gD}) K_{csp} v_g D_{sp}$$

$$A_{12.10} = - \frac{h_{fg} v_g W_S^*}{V_{fg} D_D}$$

$$A_{12.11} = - \frac{h_{fg}}{v_{fg} D_D}$$

### 4.3 主なサブルーチン

図 4.1 に BWRDYN のフローチャート、表 4.1 にサブルーチン及びファンクションの内容を示す。このうち前章で説明されていない主なサブルーチンについてのべる。

積分及び一次遅れに関しては、差分法を用いておりそれぞれ FUNCTION として INTGRL と REALPL を作成している。

中性子動特性方程式は、規格化した後、遅発中性子先行核濃度を INTGRL を用いて求め中性子束は Prompt jump methode によって求めている。

“むだ時間”  $\tau_d$  は入力したタイムメッシュのうち最大のものから  $K = \text{Time} / \Delta t_{max}$  として  $K_{max}$  個記憶できるように DIMENSION をとり、 $L = \tau_d / \Delta t_{max}$  だけ溯って  $(K-L)$  個目のデータをとってくる方式としている。

但し、この方法は  $\tau_d$  が一定かあるいは変化幅が小さい場合には有効であるが、再循環ポンプトリップ時のように流量が指数関数的に減少するときは  $\tau_d$  が指数関数的に増加するため単純にさかのぼったデータを用いる方式では物理的に無意味な場合がある。この場合は、目的の領域を分割し一次遅れの結合で近似している。

蒸気表は飽和状態では圧力が  $0.01 \sim 100$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ ) の間で変化率に応じて 41 点とり、これを 14 のグループに分けて各グループを 3 次式で模擬し、その係数を DATA 文で与えている。求める圧力に対する値は、その圧力がどのグループに属するかをサーベイし用いる係数を決定すればよい。圧力に対するエンタルピ、比容積の変化率は各々の微係数として 2 次式で求められる。

サブクール水の比容積-エンタルピ、温度-エンタルピの関係は圧力依存性が極めて小さいことから  $60$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ ) における関係を  $10^\circ\text{C}$  間隔でとりこれを 3 次式で模擬し、その係数を



DATA文で与える方式としている。但し、後者では、任意の圧力における飽和エンタルピと飽和温度とがサブクール水のそれと一致するように、飽和エンタルピの近傍で内挿している。

表 4.1 BWRDYNのサブルーチン及びファンクション

---

サブルーチン	
ACTOR	: 主蒸気隔離弁とタービン止め弁の弁開度
ALARM	: 発信された警報の種類と時刻のチェック
CARDIN	: 入力カードを読み込み一時ファイル上に記憶する
CHANGE	: 入力データに従った外乱の時間に対する大きさの計算
CONDEN	: 主コンデンサの熱水力計算
CORCHA	: 炉心チャンネル領域の熱水力計算
CORLST	: 炉心リーク領域の熱水力計算
CROUT	: 連立一次元方程式の解法 (Crout法)
ECCS	: 緊急炉心注入系の流量計算
FLUX	: 中性子束の計算
FTEMP	: 燃料温度の計算
GRAPH	: グラフフィック出力
GRSECT	: グラフの補助サブルーチン
HEATER	: 給水ヒータ
LEAK	: 破断流量の計算
MAIN	: メインプログラム、一次系に係わるサブルーチンの制御
MAIN2	: 二次系に係わるサブルーチンの制御
MERSON	: 一点近似中性子動特性方程式の解法 (Runge-Kutta-Merson法)
MOISEP	: 湿分分離器の熱水力計算
PIC	: PICNTLの補助サブルーチン、弁開度の計算
PICNTL	: 給水ヒータのドレン水位制御
PRMABS	: プリントプロットの補助サブルーチン、最大値の絶対値を計算
PRPLOT	: プリントプロットの補助サブルーチン、プロット枠のセット
PRSCAL	: プリントプロットの補助サブルーチン、スケーリング
PRSET	: プリントプロットの補助サブルーチン、プロット位置の計算
REVERS	: 炉内冷却水の逆流時のモデル
RISER	: 炉心上部プレナム (ライザ) の熱水力モデル
SCRAM	: スクラム条件のチェック及びスクラム挿入反応度計算
SDCLP	: ダウンコマ及び下部プレナムの熱水力モデル
SECOND	: 2次式でフィッティングする時の係数の計算
SEPATR	: セパレータ熱水力モデル
SFLOW	: 炉内の各領域の流量、体積及び圧力変化率の計算
SKINE	: MERSONの補助サブルーチン
SPLOT	: プリントプロット
SREACT	: 反応度の計算
SREAD	: 一次系の入力データ読み込み
SREAD2	: 二次系の入力データ読み込み
STEADY	: 定常状態における1次系ヒートバランスの計算
STEAD2	: 2次系の初期ヒートバランス

---

表 4.1 (続 き)

---

STHIRD	:	3次式でフィッティングする時の係数の計算
STITLE	:	計算ケースのタイトル書出し
STLINE	:	主蒸気管内の蒸気動特性モデル
SUBCHF	:	限界熱流束 (CHF) の計算
SUBCUP	:	浄化系
SUBFCP	:	再循環流量の計算
SUBHIN	:	炉心入口エンタルピの計算
SUBRHR	:	余熱除去系の熱水力計算
SUBWF	:	主給水系のモデル
SUBWS	:	主蒸気系のモデル
SWRITE	:	一次系の計算結果のプリント出力
SWRIT2	:	二次系の計算結果のプリント出力
TURBIN	:	タービン・発電機
TBPRES	:	タービン抽気段圧力の計算
TSTEAM	:	蒸気表
VVDOME	:	自由水面領域 (ダウンカマ上部) 及びドーム領域の熱水力計算
WLEVEL	:	ダウンカマ水位の計算
ファンクション		
DELAY	:	一定値に対するむだ時間
DELAYS	:	可変値に対するむだ時間
FETA	:	炉心冷却材流量配分
FHSP	:	蒸気 h (比エンタルピ) - s (比エントロピ) 線図のデータ
FSLIP	:	スリップ比を用いたボイドとクオリティの関係
FTHOM	:	二相流圧損倍率 (Thomの式)
FTP	:	飽和水の圧力とエンタルピの関係
FTS	:	未飽和水の温度とエンタルピの関係
FUNCCP	:	未飽和水の温度と比容積の関係
FUNCEX	:	計算値と比較するためのデータ (実測値等) の読み込みと記憶
FUNCFX	:	直線による内外挿
FUNCG	:	グラフのスケーリングの桁の調整
FUNCNX	:	入力した中性子束分布の規格化
FUNHWF	:	給水エンタルピ
FVS	:	未飽和水のエンタルピと比容積との関係
FWILSN	:	気泡離脱速度 (Willsonの相関式)
INTGRL	:	積分 (Euler法)
LIMIT	:	指定した最大値、最小値内に制限
REALPL	:	一次遅れ (Euler法)
RUNGKT	:	積分 (Runge-Kutta法)
BLOCKD	:	ブロックデータ、圧力と破断放出流量の関係

---

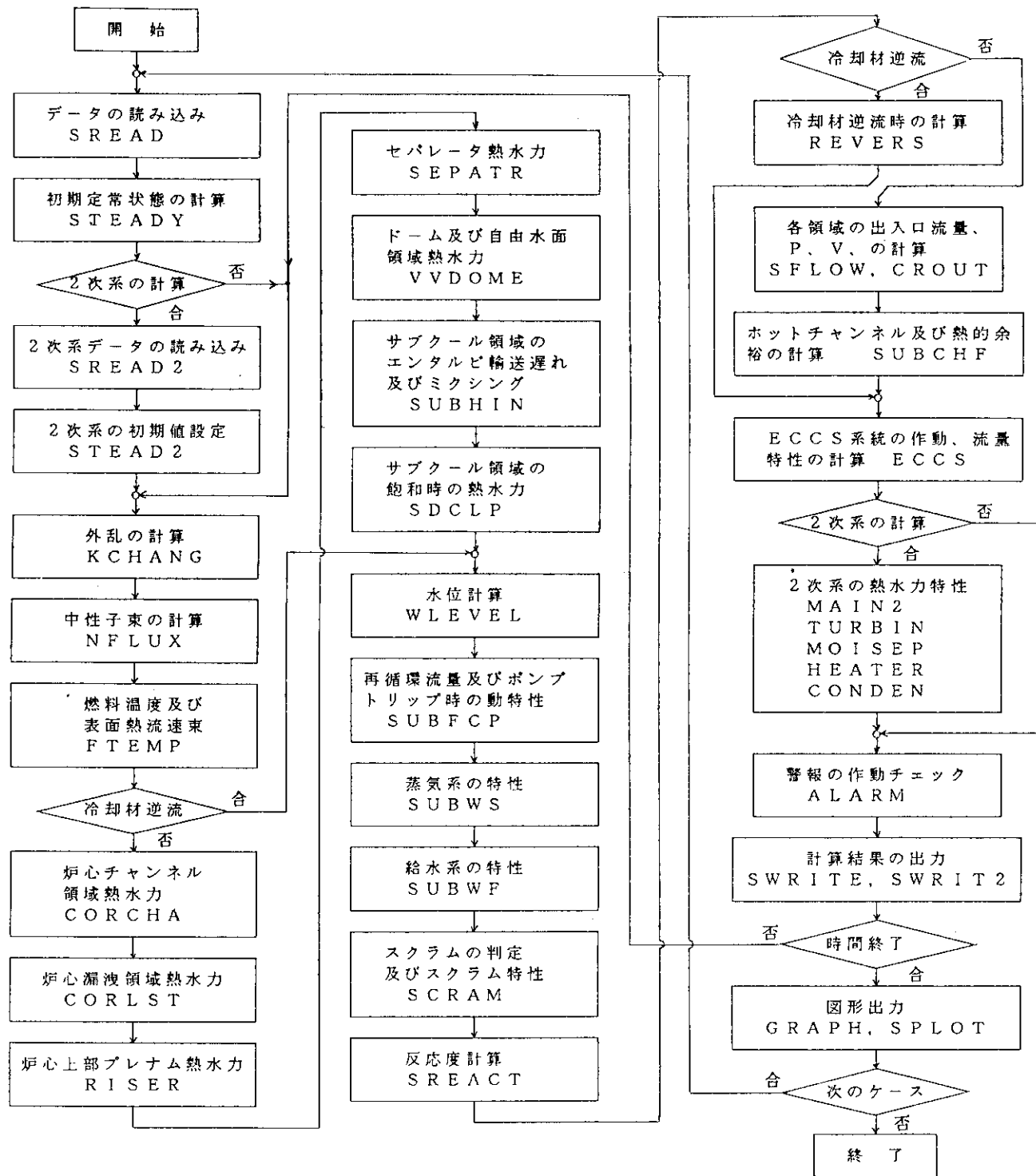


図 4.1 BWRDYN コード計算フローチャート

## 5. コード使用法

### 5.1 1次系の入力データ

1次系の入力データの内 CARD-1～54までは主にプラントの定数であり CARD-55以降は出力レベル 外乱の種類等の計算条件である。

入力形式は、カード番号の次に示した。但し、 $(X(i)=1, imax)$ の場合は  $7E10.0$  と示されているが、 $imax > 7$  のとき、例えば  $i = 9$  では  $7E10.0 / 2E10.0$  となる。付録に Peach Bottom Unit 2 のデータ<sup>14)</sup>から作成した入力データリストが示されているので参照のこと。

なお、第1カラムに\*印を入力するとコメントカードと見做される。

#### CARD-1 (20A4)

1 TITLE タイトル

#### CARD-2 (I5)

1 KREAD 1 ケース目は不要、連続ケースのとき2 ケース目から0又は1を入れる。  
1のときはCARD-1～54は不要、0のときはCARD-1から順に入力する。

#### CARD-3 (I5)

1 KSCND 2次系(湿分分離器, タービン, コンデンサ, 給水ヒータ)の動特性計算  
をしないとき0, 計算するとき1, 初期値のみ計算するとき2

#### CARD-4 (4E10.0)

1 POWER 熱出力 (MW)  
2 RQF 燃料内発熱割合 (-)  
3 RQCC チャンネル内発熱割合 (-)  
4 RQCL リーク領域内発熱割合 (-)

#### CARD-5 (7I5)

1 LOOP 再循環ループ数  
2 JPUMP ジェットポンプがあるとき1, ないとき0  
3 JWFC S 給水流量がタービン駆動ポンプ回転数制御のとき1, 弁開度制御のとき0  
4 JRFCS 再循環流量が弁開度制御のとき1, MFG制御のとき0  
5 JDRIER 蒸気ドライヤー下端が自由水面下のとき1, 水面上のとき0  
6 JCOND 隔離用(非常用)コンデンサーがあるとき1, ないとき0  
7 LSTM 主蒸気管の数

#### CARD-6 (7E10.0/3E10.0)

1 WCI 炉心入力全流量 (kg/s)  
2 WPI 再循環ポンプ一台流量 (kg/s)  
3 WSI 主蒸気流量 (kg/s)

- |    |       |                                 |
|----|-------|---------------------------------|
| 4  | WFI   | 主給水流量 (kg/s)                    |
| 5  | PI    | 原子炉圧力 (kg/cm <sup>2</sup> g)    |
| 6  | PTI   | タービン入口圧力 (kg/cm <sup>2</sup> g) |
| 7  | XCU   | セパレータ出口キャリアアンダクオリティ (%)         |
| 8  | WLOSS | プラントの熱損失, 蒸気流量換算 (kg/s)         |
| 9  | WSAE  | 空気抽出器への蒸気流量 (kg/s)              |
| 10 | WSFWP | タービン駆動給水ポンプへの蒸気流量 (kg/s)        |

## CARD-7 (I5/7E10.0/7E10.0)

- |   |         |                                      |
|---|---------|--------------------------------------|
| 1 | KETA    | 炉心流量配分の入力データ組数 (≤ 10)                |
| 2 | ETAE(i) | i = 1, KETA 炉心流量配分 (-)               |
| 3 | ETAW(i) | i = 1, KETA, ETAEに対応する炉心入口流量, 定格で1.0 |

## CARD-8 (7E10.0/7E10.0)

- |   |          |   |
|---|----------|---|
| 1 | RAMDA(i) | i = 1, 6 遅発中性子崩壊定数 (sec <sup>-1</sup> ) |
| 2 | ALIFF    | 中性子寿命 (sec)                             |
| 3 | BETA(i)  | i = 1, 6 遅発中性子割合 (-)                    |
| 4 | BETAEF   | 実効遅発中性子割合 (-)                           |

## CARD-9 (5E10.0)

- |   |       |  |
|---|-------|--|
| 1 | RF    | 燃料半径 (m)                               |
| 2 | RCI   | 被覆管内側半径 (m)                            |
| 3 | RCO   | 被覆管外側半径 (m)                            |
| 4 | HROD  | 燃料有効長 (m)                              |
| 5 | HTGAP | 燃料ギャップ熱伝達係数 (Kcal/m <sup>2</sup> s °C) |

## CARD-10 (6I5)

- |   |       |                            |
|---|-------|----------------------------|
| 1 | NAFL  | 燃料棒の配列7又は8                 |
| 2 | NASM  | 燃料集合体数                     |
| 3 | JMAX  | 燃料半径方向分割メッシュ数 (≤ 5)        |
| 4 | KMAX  | 燃料軸方向分割メッシュ数 (≤ 25)        |
| 5 | NFAN  | 平均チャンネル軸方向出力分布入力点数 (≤ 30)  |
| 6 | NFHOT | ホットチャンネル軸方向出力分布入力点数 (≤ 30) |

## CARD-11 (7E10.0)

FAV(i) i = 1, NFAV 平均チャンネル軸方向出力分布を等間隔で入力(任意単位)

## CARD-12 (7E10.0)

FHOT(i) i = 1, NFHOT ホットチャンネル軸方向出力分布を等間隔で入力(任意単位)

## CARD-13 (3E10.0)

- |   |       |                          |
|---|-------|--------------------------|
| 1 | FPEAK | 平均チャンネルとホットチャンネルの出力比 (-) |
| 2 | APEAK | 軸方向ピーキング係数 (-)           |
| 3 | RPEAK | ローカルピーキング係数 (-)          |

## CARD-14 (5I5)

- 1 KRVOID ボイド反応度計算に必要なデータ組数
- 2 KRTF ドップラー反応度 "
- 3 KRTMOD 減速材温度反応度 "
- 4 KSCOND 計算に必要なスクラム条件の数
- 5 KSCR スクラム時の時間対挿入反応度の組数, 以上はいずれも $\leq 10$ である。

## CARD-15 (7E10.0/7E10.0)

- 1 AV(i)  $i = 1, KRVOID$  ボイド率 (%)
- 2 ARV(i)  $i = 1, KRVOID$  ボイド反応度 ( $\Delta k/k$ )

## CARD-16 (7E10.0/7E10.0)

- 1 ATF(i)  $i = 1, KRTF$  燃料温度 ( $^{\circ}C$ )
- 2 ARTF(i)  $i = 1, KRTF$  ドップラー反応度 ( $\Delta k/k$ )

## CARD-17 (7E10.0/7E10.0)

- 1 ATM(i)  $i = 1, KRTMOD$  減速材温度 ( $^{\circ}C$ )
- 2 ARTM(i) " 減速材温度反応度 ( $\Delta k/k$ )

## CARD-18 (7E10.0/7E10.0)

- 1 RODSC スクラム時挿入反応度 ( $\Delta k/k$ )
- 2 SCR(i)  $i = 1, KSCOND$  スクラム条件, 中性子束 (-), 原子炉圧力( $kg/cm^2S$ ), 水位 (cm), タービン主塞止弁開度 (-) の順

## CARD-19 (7E10.0/7E10.0)

- 1 TSC(i)  $i = 1, KSCR$  スクラム時の時間, スクラム信号オンを0.0秒とする (sec)
- 2 RSC(i)  $i = 1, KSCR$  TSCに対応する挿入反応度, 但し  $0 \leq RSCC \leq 1$   
0: 全挿入, 1: 挿入前

## CARD-20 (7E10.0/7E10.0/E10.0)

- 1 VCC 炉心チャンネル領域体積 ( $m^3$ )
- 2 VCL 炉心リーク領域体積 ( $m^3$ )
- 3 VSTAG 滞留水領域体積 ( $m^3$ )
- 4 VR 上部プレナム体積 ( $m^3$ )
- 5 VSP0 セパレータ体積 ( $m^3$ )
- 6 VV0 ベッセル飽和水領域体積 ( $m^3$ )
- 7 VD0 ドーム部体積 ( $m^3$ )
- 8 VPIN 原子炉出口から隔離弁までの蒸気パイプ内体積 ( $m^3$ )
- 9 VPOUT 隔離弁からタービン入口までの蒸気パイプ内体積 ( $m^3$ )
- 10 VDC ダウンカマ部体積 ( $m^3$ )
- 11 VFPC 再循環パイプ内体積 ( $m^3$ )
- 12 VLP 下部プレナム体積 ( $m^3$ )
- 13 VDJ ダウンカマ部の給水スパーチャからジェットポンプ入口までの体積 ( $m^3$ )

- 14 VDP 再循環パイプ入口から再循環ポンプまでの体積 (m<sup>3</sup>)
- 15 VJ ジェットポンプ内体積 (m<sup>3</sup>)
- CARD-21 (6 E 10.0) JDRIER=0 のとき不要
- 1 VDRYO ドライヤー内の初期体積 (m<sup>3</sup>)
- 2 ADRY ドライヤー内の断面積 (m<sup>2</sup>)
- 3 HDRY 水面下のドライヤー高さ (m)
- 4 DPDRY ドライヤー内外の差圧 (kg/cm<sup>2</sup>)
- 5 RDRY1 (2, 7, 12) 式の a<sub>2</sub>
- 6 RDRY2 水位が低下したとき、ドライヤーの効果が表われなくなるドライヤー下端との距離 (m)
- CARD-22 (7 E 10.0/7 E 10.0)
- 1 HDC0 炉心チャンネル内等価直径 (m)
- 2 HDR0 上部プレナム等価直径 (m)
- 3 HDVV0 ベッセル部等価直径 (m)
- 4 HDDC0 ダウンカマ部等価直径 (m)
- 5 HDLP0 下部プレナム等価直径 (m)
- 6 AC 炉心チャンネル領域断面積 (m<sup>2</sup>)
- 7 AR 上部プレナム断面積 (m<sup>2</sup>)
- 8 AVV ベッセル断面積 (m<sup>2</sup>)
- 9 ADC ダウンカマ断面積 (m<sup>2</sup>)
- 10 ALP 下部プレナム断面積 (m<sup>2</sup>)
- 11 HRISER 上部プレナム高さ (m)
- 12 HDC ダウンカマ部高さ (m)
- 13 HLP 下部プレナム高さ (m)
- 14 HJP ジェットポンプ吸込み口高さ (m)
- CARD-23 (5 E 10.0)
- 1 ADHM 水位計水位の計算値と実測値との関係 } (2.8.10)式参照
- 2 TAUHM1 一次遅れ時定数 (sec) }
- 3 TAUHM2 むだ時間時定数 (sec) }
- 4 HMLOW 制御用水位計の下限値 (cm)
- 5 HDCLV 給水スパーチャから広域水位計の下部ノズルまでの距離 (m)
- CARD-24 (7 E 10.0/4 E 10.0)
- 1 FSCOND セパレータ出口水がサブクールのときドーム蒸気を凝縮させるときの係数 (-)
- 2 HSPL 通常水位からセパレータ出口までの距離
- 3 RHSP セパレータ出口から水面までの凝縮係数に対する基準距離 (m)
- 4 HSPUP セパレータ内保有水が自由水面と共に変化するときの上限 (m)
- 5 HSPLOW " 下限 (m)



6	AHSP	セパレータ内保有水が自由水面と共に変化するきの実効断面積 (m <sup>2</sup> )	
7	HSPRT	セパレータ高さ (m)	
8	RHSP	セパレータ出口から水面までの凝縮係数に対する距離 (m)	
9	FHSP	セパレータ内水量に対するダウンカマ水位の効果 (-)	} (2.6.15)式参照
10	FWSP	セパレータ内水量に対する再循環流量の効果 (-)	
11	FGSP	セパレータ内水量に対する入口蒸気流量の効果 (-)	

## CARD-25 (7E10.0/E10.0)

1	HCVI	炉心下端から給水スパージャーまでの高さ (m)
2	HJPI	炉心下端からジェットポンプ入口までの高さ (m)
3	HCSI	炉心下端から炉心スプレ出口ノズルまでの高さ (m)
4	HRCI	炉心下端からRCIC 出口ノズルまでの高さ (m)
5	HSPLI	炉心下端からセパレータ出口下端までの距離 (m)
6	HSPUPI	炉心下端からセパレータ出口上端までの距離 (m)
7	VSPUPI	シュラウド外側のセパレータ上端までの体積 (m <sup>3</sup> )
8	HPLG	下部プレナム平均ガス移行距離 (m)

## CARD-26 (7E10.0)

1	FHRCIC	RCICによる凝縮率が100%となる距離 (m)
2	FHFW	給水による凝縮率が100%となる距離 (m)
3	FHCS	コアスプレイによる凝縮率が100%となる距離 (m)
4	FRSP	セパレータ (上部開口部) 面積比 (-)
5	FCOND	セパレータ凝縮係数 (-)
6	RATEDC	ボイドが下方に引っ張られるときの割合 (-) (ダウンカマ→下部プレナム)
7	RATECO	ボイドが炉心から下方に引っ張られるときの割合 (-)

## CARD-27 (3I5)

1	KLEVEL	炉水位計算用の高さ と 体積の組数 (-)
2	KLEVLI	シュラウド内側水位計算用の高さ と 体積の組数 (-)
3	KDHW	広域水位計算用の高さ と 体積の組数 (-)

## CARD-28 (7E10.0/7E10.0/0/7E10.0/7E10.0/7E10.0/7E10.0)

1	HL(i)	i = 1, KLEVEL	高さ (給水スパージャー中心を0) (m)
2	VL(i)	i = 1, KLEVEL	体積 (給水スパージャー中心を0) (m <sup>3</sup> )
3	HLI(i)	i = 1, KLEVLI	シュラウド内側水位計算用の高さのデータ (m)
4	VLI(i)	i = 1, KLEVLI	シュラウド内側水位計算用の体積のデータ (m <sup>3</sup> )
HLI, VLIの入力は炉心下端を規準にする。			
5	DHW(i)	i = 1, KDHW	広域水位計算用の高さのデータ (m)
6	WFW(i)	i = 1, KDHW	広域水位計算用の体積のデータ (m <sup>3</sup> )

## CARD-29 (7E10.0/7E10.0/7E10.0)

1	TAUTCV(i)	i = 1, 4	タービン圧力制御の各時定数 (sec)
---	-----------	----------	---------------------

- 2 GTCV タービン圧力制御のゲイン (-)
- 3 VTCVUP タービン入口弁開度上限, 定格時の弁開度を1.0とする。(-)
- CARD-30 (2I5)
- 1 LTCV タービン主塞止弁が閉まる時の時間対弁開度のデータの組数 ( $\leq 10$ )
- 2 LVISO 主蒸気隔離弁が閉まる時の時間対弁開度のデータ組数 ( $\leq 10$ )
- CARD-31 (7E10.0/7E10.0/7E10.0/7E10.0)
- 1 TTCV(i)  $i=1, LTCV$  タービン主塞止弁が閉まる時の時間のデータ (sec)
- 2 CTCV(i)  $i=1, LTCV$  タービン主塞止弁が閉まる時の弁開度(1~0)のデータ(-)
- 3 TVISO(i)  $i=1, LVISO$  主蒸気隔離弁が閉まる時の時間のデータ (sec)
- 4 CVISO(i)  $i=1, LVISO$  主蒸気隔離弁が閉まる時の弁開度(1~0)のデータ (-)
- CARD-32 (6E10.0)
- 1 WSBI タービンバイパス弁容量 (kg/s)
- 2 PBV バイパス弁作動設定圧力 (kg/cm<sup>2</sup>g)
- 3 DTBV 作動圧到達から開動作開始までのむだ時間 (sec)
- 4 DTBVO 開きはじめから全開までに要する時間 (sec)
- 5 TAUBV 上記3, 4は弁動作がオン-オフ式の場合であり, 制御系を有する場合はTAUBVなる時定数を入力する (sec)
- 6 GBPV 制御系を有する場合のゲイン (-)
- なお, 5, 6に0.0を入力するとオン-オフ式とみなす。
- CARD-33 (2I5)
- 1 KWSRF 異なる作動圧力の逃し弁組数
- 2 KWSSV " 安全弁組数
- CARD-34 (7E10.0/7E10.0/E10.0/14I5)
- 1 WSRFSV(i)  $i=1, KWSRF+KWSSV$  各組の流量 (kg/s)
- 2 PRFSV(i)  $i=1, 2(KWSRF+KWSSV)$  各組の吹出し圧と吹止り圧 (kg/cm<sup>2</sup>g)
- 3 TADS ADS論理が起動してから弁が閉まるまでの時間 (sec)
- 4 NADS(i)  $i=1, KWSRF$  ADS論理が起動した時に開ける弁の識別  
0:開けない, 1:開ける (-)
- CARD-35 (5E10.0) JECOND=0のとき不要
- 1 QEC 非常用復水器の熱量 (kcal/s)
- 2 PEC " 作動圧 (kg/cm<sup>2</sup>g)
- 3 TEC " 2次側温度 (°C)
- 4 DTEC 非常用復水器の信号オンから開き始めるまでの時間 (sec)
- 5 DTECO 開き始めてから定格流量になるまでの時間 (sec)
- CARD-36 (7E10.0)
- GWF(i)  $i=1, 7$  給水制御系の各ゲイン, Fig. 2.11を参照
- CARD-37 (7E10.0)
- TAUWF(i)  $i=1, 10$  給水制御系の各時定数 (sec)

CARD-38 (14I5)

LIMTWF(i)  $i=1, 7$  給水制御系の各リミット, リミットのあるとき1, ないとき0

CARD-39 (7E10.0)

CWF(i)  $i=1, 14$  各リミットの値, LIMTWF(i)=0のときは0.0を入力

CARD-40 (7E10.0)

KWFCV 給水制御系の弁開度対流量の組数, JWFCV=1のときはPI出力対流量の組数 ( $\leq 10$ )

CARD-41 (7E10.0/7E10.0)

- 1 WFL(i)  $i=1, KWFCV$  弁開度 (%) 又はPI出力 (Volt)
- 2 WFCV(i)  $i=1, KWFCV$  WFL に対応する流量 (T/H)

CARD-42 (2E10.0/I5)

- 1 THWF 1 給水エンタルピの一次遅れ時定数 (sec)
- 2 THWF 2 給水エンタルピのむだ時間要素の時定数 (sec)
- 3 KHWF 給水エンタルピと給水流量との関係の組数 ( $\leq 10$ )

CARD-43 (7E10.0/7E10.0/2E10.0)

- 1 HWFH (i)  $i=1, KHWF$  給水流量, 定格で 1.0 (-)
- 2 HWFH (i)  $i=1, KHWF$  HWFW に対応する給水エンタルピ (kcal/kg)
- 3 ZWFH 高圧ヒータ給水ライン一系列カット時の給水の変化割合 (-)
- 4 ZWFL 低圧ヒータ給水ライン一系列カット時の給水の変化割合 (-)

CARD-44 (7E10.0/6E10.0)

- 1 SUMI0 再循環パイプ, ジェット部以外のL/A ( $m^{-1}$ )
- 2 SUMIP 再循環パイプのL/A ( $m^{-1}$ )
- 3 SUMIJ ジェット部のL/A ( $m^{-1}$ )
- 4 FRIC0 再循環パイプ, ジェット部以外の定格流量時の圧力損失 ( $kg/m^2$ )
- 5 FRICP 再循環パイプの " ( $kg/m^2$ )
- 6 FRICJ ジェット部の " ( $kg/m^2$ )
- 7 PJI 定格時のジェットポンプ部ヘッド ( $kg/m^2$ )
- 8 QP 再循環ポンプ出力 (MW)
- 9 PETA " 効率 (-)
- 10 PPI 定格時の再循環ポンプヘッド ( $kg/m^2$ )
- 11 NPI 再循環ポンプ定格回転数 (rpm)
- 12 GD2 全系のはずみ車効果 ( $kg \cdot m^2$ )
- 13 ELOSS 全系の電氣的損失 (kw)

但し, FRICP, FRICJ は 2.10 節に示した式の定常項から計算される。

CARD-45 (7E10.0)

- 1 APQ(i)  $i=1, 3$  再循環ポンプ流量 ( $m^3/s$ )
- 2 APH(i)  $i=1, 3$  APQ に対するポンプ揚程 (m)

CARD-46 (7E10.0)

RCFC(i)  $i = 1, 7$   $i$  の内訳は次のとおり

(Fig. 2.9 参照)

- 1 : 比例ゲイン  $G_1$
- 2 : むだ時間  $\tau_1$  (sec)
- 3 : 一次おくれ時定数  $\tau_2$  (sec)
- 4 : 積分時定数  $\tau_3$  (sec)
- 5 : 積分のリミット
- 6 : ポンプ流量の上限 (-)
- 7 : 中性子束の目標変化公配 (1/sec)

CARD-47 (I5) JPUMP=0 のとき不要

KRM M比 (再循環ポンプ流量とジェットポンプ吸込み流量との比) 対流量の組数 ( $\leq 10$ )

CARD-48 (7E10.0/7E10.0) JPUMP=0 のとき不要

- 1 RMW(i)  $i = 1, KRM$  再循環ポンプ流量, 定格で1.0
- 2 RMM(i)  $I = 1, KRM$  RMWに対応するM比

CARD-49 (3E10.0/I5)

- 1 WCS0(i)  $i = 1, 4$  炉心注入系定格流量 (kg/s)
- 2 HCS(i)  $i = 1, 4$  炉心注入系エンタルピ (kcal/kg)
- 3 TDCS(i)  $i = 1, 4$  炉心注入系おくれ時間 (sec)
- 4 KCSP(i)  $i = 1, 4$  炉心注入系の入力組数 ( $\leq 10$ )

CARD-50

- 1 PCSP(k, i)  $k = 1, KCSP(i)$  原子炉圧力 (kg/cm<sup>2</sup>a)
- 2 WCSP(k, i)  $k = 1, KCSP(i)$  注入流量 (kg/sec)

ここで1~4の*i*の内訳は次の通り

- $i = 1$  : HPCS JEC0ND=1 のときは0.0
- $= 2$  : HPCI JEC0ND=0 のときはRCIC の値
- $= 3$  : LPCS
- $= 4$  : LPCI JEC0ND=1 のときは0.0

CARD-51 (4E10.0)

CSET(i)  $i = 1, 4$  炉心注入系起動信号設定値

設定値の内訳は

- $i = 1$  : 炉水位L2レベル, JEC0ND=1 ではレベル低低, 定常水位からの変化 (cm)
- $2$  : 炉水位L1レベル, JEC0ND=1 では不要, 定常水位からの変化 (cm)
- $3$  : 炉水位L8レベル, JEC0ND=1 ではレベル高, 定常水位からの変化 (cm)
- $4$  : LPCSの圧力低値, JEC0ND=1 では不要 (kg/cm<sup>2</sup>a)

CARD-52 (I5)

- 1 NANNT 警報の数 ( $\leq 100$ )

CARD-53 (I5, 1XA6, E10.0, A50) NANNT=0 のときは不要

- 1 NANCON(i) i = 1, NANNT 1つの警報が発信されるための条件の数
- 2 ANNOBJ(i) i = 1, NANNT 警報発信後の作動項目  
 SCRAM: スクラム (CARD-18と同じ機能), VIS0: 主蒸気隔離弁,  
 TCV: タービントリップによる主塞止弁, VCIV: インターセプト弁
- 3 TDANN(i) i = 1, NANNT 警報発信後の実作動までの時間遅れ (sec)
- 4 ANNAME(i) i = 1, NANNT 警報の名前 (50文字以内)
- CARD-54 (A6, 1X, E10.0, I5) NANNT=0 のときは不要
- 1 ANNREF(j) j = 1, JMAX (条件の数 NANCON(i)の合計), 条件の名前 (5.1を参照)
- 2 SETANN(j) j = 1, JMAX, 設定値
- 3 NACOND(j) j = 1, JMAX, 条件の種類, 1: 設定値以上, -1: 設定値以下  
 条件が2以上のときは, 2つ目の条件から, 'OR'のときはそのまま,  
 'AND'のときは10倍した値を入力する。

以上は主にプラントの定数であり以降は計算条件の入力である。

CARD-55 (3E10.0, I5)

- 1 N 原子炉出力, 定格で1.0
- 2 W0 再循環流量 (炉心入口流量), 定格で1.0
- 3 P0 初期原子炉圧力, 但し定格圧力のときは0.0を入力 (kg/cm<sup>2</sup>g)
- 4 MODCAL 通常0, 初期状態のみ計算して終了するとき1 (-)

CARD-56 (14I5)

- 1 KTCV タービン入口の圧力制御モード  
 0: 自動制御  
 1: 手動
- 2 KWF 給水制御系の計算条件  
 0: 自動  
 1: 手動, 初期値が保持される  
 2: 給水ポンプトリップ  
 3: 給水ポンプトリップ及び再起動
- 3 KPTRIP 通常0, 再循環ポンプトリップのときその停止台数を入力
- 4 KRFBV 逃し弁作動の計算条件, 通常0, 特定の弁のみを作動させるとき1, 条件に達しても作動させないとき2, 逃し弁, 安全弁共に作動させないとき3
- 5 KBPV タービンバイパス弁の計算条件, 通常0, 作動条件に達しても作動させないとき1, 特定の時間だけ作動させるときはその時間の入力個数を入力する。2 ≤ KBPV ≤ 10
- 6 KECV 非常用復水器の計算条件, 通常0, 条件に達しても作動させないとき1, 特定の時間に作動させるときはその入力時間個数を入力する。

$$2 \leq \text{KBPV} \leq 10$$

- |    |        |  |
|----|--------|--|
| 7  | KHOT   | 過渡時にホットチャンネルの熱的制限値を計算するとき1, しないとき0                                 |
| 8  | KDRY   | 蒸気ドライヤの効果を計算に取り入れるとき1 [(2.7.12)式を用いる],<br>又は2 [(2.7.11)式を用いる], 通常0 |
| 9  | KSPIPE | 主蒸気管の動特性を取入れるときパイプの分割メッシュ数を入力する<br>( $\leq 10$ )但し用いないときは0を入力)     |
| 10 | KECCS  | ECCS系統の作動を計算に用いるとき1, 通常0   |
| 11 | KSATAL | ダウンカマ, 下部プレナムが飽和になったときのモデルを用いないとき0,<br>用いるとき1 (-)                  |
| 12 | KBREAK | 通常0, 小破断を伴う過渡現象の計算を行うとき1 (-)                                       |
| 13 | KDELAY | 通常0, むだ時間に一次おくれの結合を用いるとき1  |
| 14 | KOPT   | 主なサブルーチンの中の変数の値を書出すとき1, 通常0 (デバッグ用)                                |

CARD-57 (7E10.0) KWF=0 又は1のときは不要

- |   |        |   |
|---|--------|---|
| 1 | TWF 1  | 給水ポンプトリップ開始から停止までの時間 (sec)                |
| 2 | TWF 2  | 再起動開始までの時間 (sec)                          |
| 3 | TWF 3  | 再起動開始から通常状態になるに要する時間 (sec)                |
| 4 | TFWPLS | 給水ポンプトリップ開始時間 (sec)                       |
| 5 | WFP 1  | 後の流量 (規格化した値) (-)                         |
| 6 | WFP 2  | 再起動後の流量 (規格化した値) (-)                      |
| 7 | TMLOW  | 給水停止となるホットウェル水位の低下に相当する逃し安全弁から流出した質量 (kg) |

CARD-58 (5E10.0/2 or 3E10.0/2 or 3E10.0/) KPTRIP=0のときは不要

- |   |             |   |
|---|-------------|---|
| 1 | PNSET       | トリップ後保持させたい回転数, 規格化回転数で入力   |
| 2 | TRILOW      | 水位低トリップの設定値, 初期値からの変化分 (cm)   |
| 3 | TAUPST      | 再循環ポンプトリップ後再起動するときの立上がり時定数 (sec)  |
| 4 | HPSET       | 再循環ポンプトリップ後再起動するときのポンプヘッド (-)   |
| 5 | WCLOW       | トリップ後炉心入口全流量が低下したとき, 使用モデルを変えるとき<br>の流量 (-)   |
| 6 | TFCPLS(i)   | 再循環ポンプトリップ時間 (sec)  |
| 7 | TFCPST(i)   | 再循環ポンプトリップ後再起動時間 (sec)  |
| 8 | FLCOEF(i,j) | $i = 1, \text{L00P}$ $j = 1, 3$<br>$j = 1$ : KPTRIP < L00P のとき, トリップしないジェットポンプ吸込み<br>水頭の変化量を流量の2次式で近似するときの2次の係数 (-)<br>$= 2$ : KPTRIP < L00P のとき, トリップしたジェットポンプ吸込み<br>水頭の目標値 (-)<br>$= 3$ : KPTRIP < L00P のとき, トリップしない再循環ポンプの駆動<br>水頭の変化量を流量の2次式で近似するときの2次の係数 (-) |

CARD-59 (10I5) KRFV=1のとき不要

NRFV(i)  $i = 1, KWSRF$  作動させないグループの逃し弁は0, 作動させるときは入力する。  $1 \leq NRFV \leq 10$ , 1を入力したときは時間ではなく作動設定条件に従う。

CARD-60 (7E10.0) NRFV(i) = 0のときは不要

TRFV(i, j)  $i = 1, NRFV(i)$ , 逃し弁の開閉時間, 但しNRFV(i)のときは0.0(sec)

CARD-61 (7E10.0) KBPV  $\leq 1$ のときは不要

TBPV(i)  $i = 1, KBPV$  バイパス弁の開閉時間(sec)

CARD-62 KECV  $\leq 1$ のときは不要

1 TECV(i)  $i = 1, KECV$  非常用復水器の開閉時間(sec)

CARD-63 (3E10.0, I5) KBREAK = 0のときは不要

- 1 ABD 破断口面積 ( $m^2$ )
- 2 HBD 炉心下端からの破断口位置 (m)
- 3 TBREAK 破断開始時間 (sec)
- 4 IBR 破断口のある領域 (-)
  - = 1 : 蒸気ドーム
  - = 2 : ダウンカマ上部 (給水スパージャーを境界)
  - = 3 : ダウンカマ下部
  - = 4 : 下部プレナム
  - = 5 : 炉心スプレイ配管

CARD-64 (24I3) KOPT = 0のときは不要

LOPT(i)  $i = 1, 24$  書出し間隔を入力する  
 0 : 書出しなし, -1 毎回書出し  
 1 : 初期値のみ書出し, N : N回目毎に書出す

ここで $i = 1$ :	FTEMP	8 : SUBFCP	15 : STEADY
	2 : CORCHA	9 : SUBWS	16 : SDCLP
	3 : CORLST	10 : STLINE	17 : FUNHWF
	4 : RISER	11 : SUBWF	18 : FLUX
	5 : SEPART	12 : SREACT	19 : ALARM
	6 : VVDOME	13 : SFLOW	20 : WLEVEL
	7 : SUBHIN	14 : ECCS	21 : LEAK

CARD-65 (12I5)

KCHANG(i)  $i = 1, 12$  外乱を与えるとき1, 与えないとき0, (iの内訳は後述)  
 同時に複数の外乱を与えることができる。

CARD-66 (I5) KCHANG(i) = 0のときは不要

KSET(i) 外乱の時間対変化幅の組数 ( $\leq 10$ )

CARD-67 (7E10.0) KCHANG(i) = 0のときは不要

- 1 TSP(j, i)  $j = 1, KSET(i)$  外乱の変化時間(sec)
- 2 ASP(j, i)  $j = 1, KSET(i)$  TSPに対応する変化幅

ここで i の内訳と変化幅の単位を示す

- 1 : タービン主塞止弁開度
  - = 1 : タービン又は発電機トリップ (-)
  - = 2 : タービン制御弁開度変更 (-)
  - = 3 : タービントリップ後バイパス弁が 30 秒開く
- 2 : EHC 圧力制御の圧力設定点の変更 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- 3 : バイパス弁制御の圧力設定点の変更 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- 4 : 反応度挿入 ( $\$$ )
- 5 : 水位設定点変更 (cm)
- 6 : 主蒸気隔離弁閉
- 7 : 再循環流量の変更 (定格値で規格化)
  - = 1 : 炉心入口流量変更 (-)
  - = 2 : 流量設定点変更 (-)
  - = 3 : 出力設定点変更 (-)
  - = 4 : ループ別流量の変更 (No 1) (-)
- 8 : 給水エンタルピーの変更 ( $\text{kcal}/\text{kg}$ )
- 9 : 給水流量の変更 (-)
- 10 : なし
- 11 : ループ 2 の流量変更
- 12 : ループ 3 の流量変更 (-) (KCHANG (7) = 4 のとき使用)
- 13 : 蒸気流量の変更
  - = 1 : タービン中間止め弁開度 (-)
  - = 2 : タービン入口蒸気流量の変更 (-)
- 14 :
  - = 1 : A 系高圧ヒータ入口弁開度 (-)
  - = 2 : A 系低圧ヒータ入口弁開度 (-)
  - = 3 : A 系高圧抽気蒸気流量の変更 (-)
  - = 4 : A 系低圧抽気蒸気流量の変更 (-)
- 15 ~ 17 : なし
- 18 : 給水ヒータドレンポンプ
- 19 : 復水器冷却水流量, 温度変更
  - = 1 : 復水器冷却水流量 1 系統 (A 系) 変更 (-)
  - = 2 : 復水器冷却水流量 2 系統 (A & B 系) 変更 (-)
  - = 3 : 復水器冷却水流量 3 系統 (A & B & C 系) 変更 (-)
  - = 4 : 復水器冷却水温度 1 系統 (A 系) 変更 ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - = 5 : 復水器冷却水温度 2 系統 (A & B 系) 変更 ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - = 6 : 復水器冷却水温度 3 系統 (A & B & C 系) 変更 ( $^{\circ}\text{C}$ )
- 20 : 湿分分離器



- = 1 : 湿分分離器1系統ドレンタンク水位制御弁開度 (-)
- = 2 : 湿分分離器2系統ドレンタンク水位制御弁開度 (-)
- = M \* 10 + N : 給水ヒータ制御弁開度 (-)

M : 系統番号 (1 ≤ M ≤ NFWHS)

N : ヒータ番号 (1 ≤ M ≤ NFWH)

CARD-68 (3E10.0)

- 1 SCRAM 手動スクラムさせるとき1.0, その他は0.0
- 2 SCROPT 条件に達したときスクラムさせるとき1.0, その他は0.0
- 3 TIMSC 手動スクラムさせるときの時間(sec)

CARD-69 (4E10.0, I5)

- 1 DT タイムメッシュ(sec)
- 2 DT1 途中でかえるときのタイムメッシュ(sec)
- 3 TIMAX 計算時間(sec)
- 4 TIMDT1 タイムメッシュをDTからDT1に変えるときの時間(sec)
- 5 KTCNTL 炉心流量に対して, タイムコントロールをするとき1, しないとき0(-)

CARD-70 (3E10.0)

- 1 DPRNT 計算結果を詳細に書出すときの時間間隔(sec)
- 2 DPRNT1 書き出し時間間隔を変えるとき使用(sec)
- 3 TIMPRT 書き出し間隔をDPRNTからDPRNT1に変えるとき時間(sec)

CARD-71 (3E10.0, I5)

- 1 DWRITE 主要パラメータを時系列に書出すときの時間間隔(sec)
- 2 DWRITE1 書き出し時間間隔を変えるとき使用(sec)
- 3 TIMWRT DWRITEからDWRITE1に変えるとき時間(sec)
- 4 IWR1 書き出す主要パラメータの数(≤50)

CARD-72 (10(A6, I5))

WNAME I(i) i=1, IWR1 パラメータの記号, 表5.1を参照

CARD-73 (4E10.0, 2I5)

- 1 DPLOT1 図形出力のときのプロット間隔(sec)
- 2 DPLOT2 途中で変えるときのプロット間隔(sec)
- 3 TPLOT DPLOT1からDPLOT2に変わるときの時間(sec)
- 4 DPRPRT プリンタープロットするときのプロット間隔, 0.0のときは書かない
- 5 NPLOT 計算結果のグラフに他のデータ(実測データ, 他の計算コードによる結果)を読み込んでグラフ上で比較するとき1, しないとき0
- 6 IGRAPH 図形出力の条件, 出力するとき1, しないとき0

CARD-74 (4I5) DPRPRT=0, のとき不要

- 1 IMAX プリンタープロットのグラフの総数(≤4) (-)
- 2 MM プリンタープロットの変数の総数(≤9) (-)
- 3 NTMAX プリンタープロットのプロット数の最大値(-)

4 NOO(i) i = 1, IMAX i 番目グラフの変数の数 (-)

CARD-75 (6X, A6, 2E10.0, 3A4) DPRPRT=0. のとき不要

- 1 YYP(i) プリントプロットの入力パラメータの略号 (6文字以内, 後の表を参照)
- 2 YPLOW(i) 変数の最小値 (-)
- 3 YPHIGE(i) 変数の最大値, 但し YPHIGH(i) - YPLOW(i) = 0.0 のときは自動スケール (-)
- 4 RNAME(i) プリントプロットのタイトル (12文字以内)

CARD-76 (5E10.0, 4I5)

- 1 HEIGHT プロットのY軸の長さ (mm)
- 2 XWIDE プロットのX軸の長さ (mm)
- 3 XLENG 1枚のシートに複数のグラフをかくときのX軸方向のグラフ間隔 (mm)
- 4 YLENG 1枚のシートに複数のグラフをかくときのY軸方向のグラフ間隔 (mm)
- 5 FCTR 拡大または縮小率 (-)
- 6 KFIG 1枚のシートに書くグラフの数 ( $\leq 6$ )  
グラフの配置は, KFIG  $\leq 3$  : Y軸の方向に, KFIG = 4 : 両軸方向に2つずつ, KFIG = 6 : Y軸方向に3つ, X軸方向に2つ
- 7 JGMAX グラフの総数
- 8 JGMAX1 プロットパラメータの総数 ( $\leq 20$ )  
JGMAX  $\leq$  JGMAX1 で, JGMAX1の方が大きいときは, 1つのグラフに複数のパラメータ (混合水位と液体水位等) を同一スケールでプロットする。
- 9 KTER ケース毎にプロットするとき1, 多ケースを重ねてプロットするときケース数を入力  
但し KTER > 1 のときは JGMAX1 = JGMAX にすること, またプロット点数の記憶容量の上限が50,000であることを考慮して JGMAX, KTER の値をきめること

CARD-77 (I5, 1X, A6, 2E10.0, A32, 1X, A4) IGRAPH=0 のとき不要

- 1 JDH(i) パラメータのプロット順番 (-)
- 2 YY(i) 入力パラメータの略号, (後の表を参照)
- 3 YSLOW(i) 変数の最小値 (-)
- 4 YSHIGH(i) 変数の最大値, 但し YSHIGH(i) - YSLOW(i) = 0.0 のときは自動スケール (-)
- 5 GNAME(i) グラフのタイトル (32文字以内)
- 6 UNIT(i) グラフ出力の単位を変えるとき使用  
KPA, MPA, PSIA, PSIG : 圧力の単位 ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{g}$ ) の変換,  
M : 長さ (cm) を (m) に変換  
% : 規格化した値をパーセントに変換

CARD-78 (6I5) NPLOT=0 のとき不要

MEXPR(i)  $i = 1, 6$  計算結果のグラフに他のデータ（実測データ，他の計算コードによる結果）を書き込むとき1，実測データを計算に使用するとき2又は3（直線内外挿のとき2，2次式を用いるとき3），その他は0

ここでiの内訳は次の通り，（ ）はコード内で使用するときの単位を示す。

- 1：蒸気流量（定格値で規格化）
- 2：原子炉圧力（ $\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ ）
- 3：中性子束（定格値で規格化）
- 4：再循環流量（定格値で規格化）
- 5：原子炉水位（cm）
- 6：給水流量（定格値で規格化）

CARD-79 (3E10.0, I5) MEXPR(i)=0のときは不要

- 1 CX 実測データの時間のスケールファクター
- 2 CY 実測データの変数のスケールファクター
- 3 TX 実測データと計算値との時間調整(sec)
- 4 JMAX CXとCYの組数( $\leq 200$ )

CARD-80 (12E6.0) MEXPR(i)=0のとき不要

- 1 AX(j)  $j = 1, \text{JMAX}$  実測データの時間項(任意単位)
- 2 AY(j)  $j = 1, \text{JMAX}$  実測データの変数項，単位は任意でCYで調整し前述の単位にする。

なお，CARD-79, 80はFUNCEXから入力する。

## 5.2 2次系入力データ

タービンの抽気蒸気量，エンタルピ，圧力等の入力記号と系統図上の位置との関係は図5.1を，また，2次系のヒートバランスに関する入力データは，Browns Ferryのデータ<sup>15)</sup>(図A.1)を参照のこと。

CARD-1 (I5)

- KREAD2 1ケース目は不要，連続ケースのとき2ケース目からは0又は1を入れる。  
1のときは，カード番号2～46は不要，0のときは，カード番号2から順に入力する。(—)

CARD-2 (2E10.0)

- WTBHT(i,1)  $i = 1, 2$  高圧タービンからの抽気蒸気量( $\text{kg}/\text{s}$ )

CARD-3 (7E10.0)

- WTBLT(i,1)  $i = 1, 7$  低圧タービンからの抽気蒸気量( $\text{kg}/\text{s}$ )

CARD-4 (4E10.0)

- PTBHT(i)  $i = 1, 4$  高圧タービン圧力(抽気段圧力) ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ )

CARD-5 (7E10.0/3E10.0)

- PTBLT(i,1)  $i = 1, 10$  低圧タービン圧力(抽気段圧力) ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ )

## CARD-6 (3E10.0)

HFHTB(i,1) i = 1, 3 高圧タービン抽気エンタルピ (kcal/kg)

## CARD-7 (7E10.0/3E10.0)

HFLTBI(i,1) i = 1, 9 低圧タービン抽気エンタルピ (kcal/kg)

## CARD-8 (9I5)

1 NWTBHT(i,1) i = 1, 2 高圧タービンからの抽気蒸気量の流出先

2 NWTBLT(i,1) i = 1, 7 低圧タービンからの抽気蒸気量の流出先

0-7を入力, 1から6は, それぞれNo.1からNo.6までの給水ヒータに対応している。7は復水器, 0は無し

以上, CARD-2~8までの入力については図5.1を参照のこと。

## CARD-9 (3E10.0)

1 NTB タービン回転数 (RPM)

2 VHLTB 高圧タービン排気部体積 (m<sup>3</sup>)3 CTBCRS クロスアラウンド管ドレン流量係数 ((kg/s)/SQRT(kg/cm<sup>2</sup>))

## CARD-10 (6E10.0)

1 T1HTB 発電機出力時定数 (sec)

2 TEHCO 定格発電機出力 (kw)

3 ITB タービン発電慣性モーメント (ton·m<sup>2</sup>)

4 ATB 対極数 (-)

5 LTBM タービン機械的損失 (kw)

6 LTBE タービン電氣的損失 (kw)

## CARD-11 (2E10.0)

TWHTL(i) i = 1, 2 高圧タービン抽気蒸気流量時定数 (sec)

## CARD-12 (6E10.0)

TWLTL(i) i = 1, 6 低圧タービン抽気蒸気流量時定数 (sec)

## CARD-13 (I5)

LCIV タービン自動トリップ時 CIV 閉特性入力組数 (≤ 10) (-)

## CARD-14 (7E10.0/7E10.0)

1 TCIV(i) i = 1, LCIV CIV 閉特性変化時間 (sec)

2 CCIV(i) i = 1, LCIV TCIV に対応するCIV開度変化幅 (-)

## CARD-15 (7E10.0/3E10.0)

WTB(i) i = 1, 10 タービン抽気蒸気流量 (kg/s)

## CARD-16 (7E10.0/3E10.0)

HTB(i) i = 1, 10 タービン抽気蒸気エンタルピ (kcal/kg)

## CARD-17 (10I5)

NWTB(i) i = 1, 10 タービン抽気蒸気流量の流入先

0-7を入力, 1から6は, それぞれNo.1からNo.6までの給水ヒータに対応している。7は復水器, 0は無し

## CARD-18 (5I5)

- 1 NFWH 給水ヒータの数
- 2 NFWHS 給水系統数
- 3 NHPFWS 高圧給水ヒータの系統数
- 4 NFWP 給水ポンプの位置, No. i のヒータの次にあるときは, i と入力する
- 5 NMOIS 湿分分離器数

## CARD-19 (7E10.0)

- VFHW(i,j,1) i = 1, 2, J = 1, NFWH  
 i = 1 : 給水ヒータクーリングゾーン給水体積 (m<sup>3</sup>)  
 i = 2 : 給水ヒータコンデンスゾーン給水体積 (m<sup>3</sup>)

## CARD-20 (7E10.0)

- VFHC(i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータクーリングゾーン給水体積 (m<sup>3</sup>)

## CARD-21 (7E10.0)

- CFHR(i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータ逃し弁流量係数 ((kg/s)/SQRT(kg/cm<sup>2</sup>))

## CARD-22 (7E10.0)

- CFHPU(i) i = 1, NFWH 給水ヒータ逃し弁吹出し圧力 (kg/cm<sup>2</sup>g)

## CARD-23 (7E10.0)

- CFHPD(i) i = 1, NFWH 給水ヒータ逃し弁吹止り圧力 (kg/cm<sup>2</sup>g)

## CARD-24

- CFHV(i) i = 1, NFWH+5 給水配管体積, 図 5.2 参照 (m<sup>3</sup>)

## CARD-25 (7E10.0)

- WFDO(i,D) i = 1, NFWH 給水ヒータドレン出口流量 (kg/s)

## CARD-26

- HFHC(i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータクーリングゾーンエンタルピ (kcal/kg)

## CARD-27 (6E10.0)

- HFHW1,i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータ入口給水エンタルピ (kcal/kg)

## CARD-28 (7E10.0)

- PHFW(i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータ器内圧力 (kg/cm<sup>2</sup>g)

## CARD-29 (7E10.0)

- AFHCL(i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータクーリングゾーン加熱面積 (m<sup>2</sup>)

## CARD-30 (7E10.0)

- AFHCO(i,1) i = 1, NFWH 給水ヒータコンデンスゾーン加熱面積 (m<sup>2</sup>)

## CARD-31 (7E10.0)

- LFHP(i) i = 1, NFWH 定格時における第 i 給水ヒータと第 i + 1 給水ヒータとの  
ドレン水位差 (m)

## CARD-32 (2E10.0)

- CFHDP 給水ヒータドレンポンプ締切時揚程 (m)

## CARD-33 (5E10.0)

- 1 CCONT(1) 復水器出口冷却水温度時定数 (sec)
- 2 VCON(1) 復水器復水体積 (m<sup>3</sup>)
- 3 HCONO(1) 復水器復水エンタルピ (kcal/kg)
- 4 PCONG(1) 復水器ガス分圧 (kg/cm<sup>2</sup>)
- 5 PCON(1) 復水器器内圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)
- CARD-34 (5 E10.0)
- 1 WMSI(1,1) 湿水分離器流入蒸気量 (kg/s)
- 2 VCIV(1,1) CIV開度 [0, 1]-[全閉, 全開] (-)
- 3 WMSO(1,1) 湿水分離器流出蒸気量 (kg/s)
- 4 HMSO(1) 湿水分離器出口蒸気エンタルピ (kcal/kg)
- 5 WMSDO(1) 湿水分離器ドレンタンクドレン流出量 (kg/s)
- CARD-35 (4 E10.0)
- 1 HMSDT(1) 湿水分離器ドレンタンクドレンエンタルピ (kcal/kg)
- 2 PMSI(1) 湿水分離器入口圧力 (kg/cm<sup>2</sup>g)
- 3 PMSO(1) 湿水分離器出口圧力 (kg/cm<sup>2</sup>g)
- 4 VMSDT(1) 湿水分離器ドレンタンクドレン体積 (m<sup>3</sup>)
- CARD-36 (2 E10.0)
- 1 WCW(1) 復水器冷却水流量 (kg/s)
- 2 TCWI(1) 復水器冷却水入口温度 (°C)
- CARD-37 (6 E10.0)
- VWFH(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御弁開度
- CARD-38 (7 E10.0/7 E10.0/7 E10.0/7 E10.0/7 E10.0)
- 1 WFHT 1(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (時定数) (sec)
- 2 WFHT 2(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (時定数) (sec)
- 3 WFHT 3(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (時定数) (sec)
- 4 WFHT 4(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (時定数) (sec)
- 5 WFHT 5(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (時定数) (sec)
- CARD-39 (7 E10.0/7 E10.0/7 E10.0)
- 1 WFHG1(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (ゲイン) (-)
- 2 WFHG2(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (ゲイン) (-)
- 3 WFHG3(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位制御定数 (ゲイン) (-)
- CARD-40 (7 E10.0)
- WFHLS(i,1) i=1, NFWH 給水ヒータ水位設定値 (m)
- CARD-41 (7 E10.0/7 E10.0/7 E10.0)
- 1 G1MS(1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (ゲイン) (-)
- 2 G2MS(1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (ゲイン) (-)
- 3 G3MS(1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (ゲイン) (-)
- CARD-42 (6 E10.0)

- 1 T1MS (1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (時定数) (sec)
- 2 T2MS (1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (時定数) (sec)
- 3 T3MS (1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (時定数) (sec)
- 4 T4MS (1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (時定数) (sec)
- 5 T5MS (1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御定数 (時定数) (sec)
- 6 VMSD (1) 湿水分離器ドレンタンク水位制御弁開度 (-)

CARD-43 (3I5)

- 1 NCFHR 給水ヒータ水位計算用データ入力組数, ( $\leq 10$ )
- 2 NCCON 復水器水位計算用データ入力組数, ( $\leq 10$ )
- 3 NCMS 湿水分離器水位計算用データ入力組数, ( $\leq 10$ )

CARD-44 (7E10.0/7E10.0)

- 1 CFHRV(i,j)  $i=1, NCFHR$  給水ヒータ水位計算用データ (体積) ( $m^3$ )
- 2 CFHRL(i,j)  $i=1, NCFHR$  給水ヒータ水位計算用データ (水位) (m)  
 $j=1, NFWH$  であり体積と水位を一对として入力する。

CARD-45 (7E10.0/7E10.0)

- 1 CCONV(i)  $i=1, NCCON$  復水器水位計算用データ (体積) ( $m^3$ )
- 2 CCONL(i)  $i=1, NCCON$  復水器水位計算用データ (水位) (m)

CARD-46 (7E10.0/7E10.0)

- 1 CMSV(i)  $i=1, NCMS$  湿水分離器水位計算用データ (体積) ( $m^3$ )
- 2 CMSL(i)  $i=1, NCMS$  湿水分離器水位計算用データ (水位) (m)

CARD-47 (4I5, 3E10.0)

- 1 IWR2 出力変数の数 ( $\leq 86$ )
- 2 ISOPT 2次系モデルの計算条件 (-)  
 $= 0$  : 全ての系列を計算する  
 $= 1$  : 1系統のみ計算する。対象となるモデルは,  
 HEATER, TURBIN, CONDEN  
 但し, MOISEP は常に2系列計算する
- 3 ITBW 0:タービン解列時, 1:併入時
- 4 KWOPT 主なサブルーチンのデバッグ用チェックライトするとき1, しないとき0
- 5 RDSND 2次系の給水流量, 主蒸気流量の初期定格値から1次系の給水流量, 主蒸気流量の任意の初期値に設定させるときの変化時間 (sec)
- 6 DTSND 2次系の初期定常値を収束計算するときのタイムメッシュ (sec)
- 7 EPSND 2次系の初期定常値を収束計算するときの収束条件 (-)

CARD-48 (10(A6, 1X))

WNAME 2(i)  $i=1, IWR2$  出力変数の記号, 表 5.1 を参照

CARD-49 (10I5) KWOPT = 0 のとき不要

KTOPT(i)  $i=1, 10$   
 主なサブルーチンのデバッグ用チェックライト (-)

i = 1 : MAIN 2                    4 : CONDEN  
= 2 : HEATER                    5 : MOISEP  
= 3 : TURBIN                    6 : STEAD 2

KTOPT(i) = 0 : 書出しなし  
          = -1 : 毎回書出し  
          = 1 : 初期値のみ書出し  
          = N : N回毎に書出す



表 5.1 出力（プリント，プリンタープロット，グラフ）のための入力パラメータ

No.	入力パラメータ	変数名	変数名の意味	単位
1	FLUX	N	中性子束	(-)
2	PRES	P	原子炉圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
3	WS	WS	主蒸気流量	(-)
4	WF	WF	主給水流量	(-)
5	LMTR	DHMETR	原子炉水位計器値変化分	(cm)
6	LMIX	DHR	原子炉混合水位（ボイドを含む）変化分	(cm)
7	RCF	WC	炉心入口全流量	(-)
8	QFS	QF	燃料表面熱流束	(-)
9	TFAV	TFAVV	燃料平均温度	(°C)
10	XC	XC	炉心チャンネル領域平均出クオリティ	(%)
11	ALFC	RG	炉心平均ボイド率	(-)
12	DHS	DHS	炉心入口サブクーリング	(kcal/kg)
13	HB	HB	炉心沸騰境界	(m)
14	XR	XR	炉心上部プレナム出口クオリティ	(%)
15	ALFR	RGR	炉心上部プレナム平均ボイド率	(-)
16	XV	XV	ベッセル飽和水領域出口クオリティ	(%)
17	LLIQ	DHM	原子炉水位（ボイドを除く）変化分	(cm)
18	WST	WST	タービン入口蒸気流量	(-)
19	PT	PT	タービン入口圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
20	PD	PD	蒸気ドーム内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
21	ROW	ROW	全反応度変化分	(dk/k)
22	ROWV	DROWV	ボイド反応度変化分	(dk/k)
23	ROWD	DROWD	ドップラー反応度変化分	(dk/k)
24	HIN	HIN	炉心入口エンタルピ	(kcal/kg)
25	LSIN	DHIN	炉心下端からのシュラウド内側水位	(m)
26	LSOUT	DHOUT	炉心下端からのシュラウド外側水位	(m)
27	LWMTR	DHMWD	広域水位系水位偏差	(cm)
28	QFMAX	QFMAX	ホットチャンネル燃料表面熱流束	(-)
29	TFMAX	TFMAX	ホットチャンネル燃料最高温度	(°C)
30	MCHFR	CHF(2)	最小限界熱流束比	(-)
31	HWF	HWF	原子炉給水エンタルピ	(kcal/kg)
32	WGC	WGC	炉心出口蒸気流量	(-)
33	WFC	WFC	炉心出口水流量	(-)
34	WTC	WTC	炉心出口全流量	(-)
35	WSRF	WSRF	逃し弁からの流出蒸気流量	(-)
36	WSSV	WSSV	安全弁からの流出蒸気流量	(-)
37	HPCS	WCS(1,1)+WCS(2,1)	高圧炉心スプレイ流量	(kg/s)
38	RCIC	WCS(1,2)+WCS(2,2)	原子炉隔離時冷却系流量	(kg/s)
39	LPCI	WCS(1,3)+WCS(2,3)	低圧炉心注入冷却材流量	(kg/s)
40	LPCS	WCS(1,4)+WCS(2,4)	低圧炉心スプレイ流量	(kg/s)
41	WP1	WP(1)	第1再循環ポンプ流量	(-)
42	WP2	WP(2)	第2再循環ポンプ流量	(-)
43	WP3	WP(3)	第3再循環ポンプ流量	(-)
44	WDJ1	WDJ(1)	第1ジェットポンプ吸込み流量	(-)
45	WDJ2	WDJ(2)	第2ジェットポンプ吸込み流量	(-)
46	WJ1	WJ(1)	第1ジェットポンプ出口流量	(-)
47	WJ2	WJ(2)	第2ジェットポンプ出口流量	(-)
48	NP1	NP(1)	第1再循環ポンプ回転数	(-)
49	NP2	NP(2)	第2再循環ポンプ回転数	(-)
50	NP3	NP(3)	第3再循環ポンプ回転数	(-)

表 5.1 (続 き)

No.	入力パラメータ	ポート内変数名	変数名の意味	単位
51	WF 1 1	WFW(1,1)	A系第1給水ヒータ給水流量	(kg/s)
52	WF 2 1	WFW(2,1)	A系第2給水ヒータ給水流量	(kg/s)
53	WF 1 2	WFW(1,2)	B系第1給水ヒータ給水流量	(kg/s)
54	WF 2 2	WFW(2,2)	B系第2給水ヒータ給水流量	(kg/s)
55	HF 1 2	HFHL(1,2)	B系第1給水ヒータ水位	(m)
56	HF 2 2	HFHL(2,2)	B系第2給水ヒータ水位	(m)
57	PLP 1	PTBLT(1,1)	低圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
58	PLP 2	PTBLT(2,1)	低圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
59	PLP 3	PTBLT(3,1)	低圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
60	HWF 2	HFHRI	原子炉給水エンタルピ	(kcal/kg)
61	PCON 1	PCON(1)	A系復水器器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
62	PCON 2	PCON(2)	B系復水器器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
63	PCON 3	PCON(3)	C系復水器器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
64	PHP 1	PTBHT(1)	高圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
65	PHP 2	PTBHT(2)	高圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
66	PHP 3	PTBHT(3)	高圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
67	PHP 4	PTBHT(4)	高圧タービン圧力(抽気段圧力)	(kg/cm <sup>2</sup> g)
68	GPOWER	TEH	タービン発電機出力	(MW)
69	NTRB	NMS	タービン回転数	(RPM)
70	FREQ	RTB	周波数	(Hz)
71	LHT 1	HFHL(1,1)	A系第1給水ヒータ水位	(m)
72	LHT 2	HFHL(2,1)	A系第2給水ヒータ水位	(m)
73	LHT 3	HFHL(3,1)	A系第3給水ヒータ水位	(m)
74	LHT 4	HFHL(4,1)	A系第4給水ヒータ水位	(m)
75	LHT 5	HFHL(5,1)	A系第5給水ヒータ水位	(m)
76	LHT 6	HFHL(6,1)	A系第6給水ヒータ水位	(m)
77	TWF 1 1	TWF(3,1,1)	A系第1給水ヒータ給水出口温度	(°C)
78	TWF 2 1	TWF(3,2,1)	A系第2給水ヒータ給水出口温度	(°C)
79	TWF 3 1	TWF(3,3,1)	A系第3給水ヒータ給水出口温度	(°C)
80	TWF 4 1	TWF(3,4,1)	A系第4給水ヒータ給水出口温度	(°C)
81	TWF 5 1	TWF(3,5,1)	A系第5給水ヒータ給水出口温度	(°C)
82	TWF 6 1	TWF(3,6,1)	A系第6給水ヒータ給水出口温度	(°C)
83	PHT 1	PHFW(1,1)	A系第1給水ヒータ器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
84	PHT 2	PHFW(2,1)	A系第2給水ヒータ器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
85	PHT 3	PHFW(3,1)	A系第3給水ヒータ器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
86	PHT 4	PHFW(4,1)	A系第4給水ヒータ器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
87	PHT 5	PHFW(5,1)	A系第5給水ヒータ器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
88	PHT 6	PHFW(6,1)	A系第6給水ヒータ器内圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
89	TCON 1	TCON(1)	A系復水器復水温度	(°C)
90	TCON 2	TCON(2)	B系復水器復水温度	(°C)
91	TCON 3	TCON(3)	C系復水器復水温度	(°C)
92	LCON 1	LCON(1)	A系復水器復水水位	(m)
93	LCON 2	LCON(2)	B系復水器復水水位	(m)
94	LCON 3	LCON(3)	C系復水器復水水位	(m)
95	HFD 1 1	HFHD(1,1)	A系第1給水ヒータコンデンスゾーンエンタルピ	(kcal/kg)
96	HFD 2 1	HFHD(2,1)	A系第2給水ヒータコンデンスゾーンエンタルピ	(kcal/kg)
97	HFD 3 1	HFHD(3,1)	A系第3給水ヒータコンデンスゾーンエンタルピ	(kcal/kg)
98	HFD 4 1	HFHD(4,1)	A系第4給水ヒータコンデンスゾーンエンタルピ	(kcal/kg)
99	HFD 5 1	HFHD(5,1)	A系第5給水ヒータコンデンスゾーンエンタルピ	(kcal/kg)
100	HFD 6 1	HFHD(6,1)	A系第6給水ヒータコンデンスゾーンエンタルピ	(kcal/kg)

表 5.1 (続 き)

No.	入力パラメータ	モード内変数名	変数名の意味	単位
101	WTBHT 1	WTBHT(1,1)	高圧タービン NO.1 抽気流量	(kg/s)
102	WTBHT 2	WTBHT(2,1)	高圧タービン NO.1 抽気流量	(kg/s)
103	WTBLT 1	WTBLT(1,1)	低圧タービン NO.1 抽気流量	(kg/s)
104	WTBLT 2	WTBLT(2,1)	低圧タービン NO.2 抽気流量	(kg/s)
105	WTBLT 3	WTBLT(3,1)	低圧タービン NO.3 抽気流量	(kg/s)
106	WTBLT 4	WTBLT(4,1)	低圧タービン NO.4 抽気流量	(kg/s)
107	WTBLT 5	WTBLT(5,1)	低圧タービン NO.5 抽気流量	(kg/s)
108	WTBLT 6	WTBLT(6,1)	低圧タービン NO.6 抽気流量	(kg/s)
109	WTBLT 7	WTBLT(7,1)	低圧タービン NO.7 抽気流量	(kg/s)
110	PTBHT 1	PTBHT(1)	タービン入口弁圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
111	PTBHT 2	PTBHT(2)	高圧タービン入口圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
112	PTBHT 2	PTBHT(3)	高圧タービン第1段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
113	PTBHT 2	PTBHT(4)	高圧タービン出口圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
114	PTBLT 1	PTBLT(1,1)	湿分分離器出口圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
115	PTBLT 2	PTBLT(2,1)	低圧タービン入口圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
116	PTBLT 3	PTBLT(3,1)	低圧タービン第1段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
117	PTBLT 4	PTBLT(4,1)	低圧タービン第2段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
118	PTBLT 5	PTBLT(5,1)	低圧タービン第3段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
119	PTBLT 6	PTBLT(6,1)	低圧タービン第4段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
120	PTBLT 7	PTBLT(7,1)	低圧タービン第5段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
121	PTBLT 8	PTBLT(8,1)	低圧タービン第6段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
122	PTBLT 9	PTBLT(9,1)	低圧タービン第7段圧力	(kg/cm <sup>2</sup> g)
123	HFHTB 1	HFHTB(1,1)	高圧タービン入口エンタルピ	(kcal/kg)
124	HFHTB 2	HFHTB(2,1)	高圧タービン NO.1 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
125	HFHTB 3	HFHTB(3,1)	高圧タービン NO.2 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
126	HFLTB 1	HFLTB(1,1)	低圧タービン入口エンタルピ	(kcal/kg)
127	HFLTB 2	HFLTB(2,1)	低圧タービン NO.1 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
128	HFLTB 3	HFLTB(3,1)	低圧タービン NO.2 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
129	HFLTB 4	HFLTB(4,1)	低圧タービン NO.3 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
130	HFLTB 5	HFLTB(5,1)	低圧タービン NO.4 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
131	HFLTB 6	HFLTB(6,1)	低圧タービン NO.5 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
132	HFLTB 7	HFLTB(7,1)	低圧タービン NO.6 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
133	HFLTB 8	HFLTB(8,1)	低圧タービン NO.7 抽気エンタルピ	(kcal/kg)
134	HFLTB 9	HFLTB(9,1)	低圧タービン出口エンタルピ	(kcal/kg)
135	LMSDT 1	LMSDT(1)	NO.1 湿分分離器ドレンタンク水位	(m)
136	LMSDT 2	LMSDT(2)	NO.2 湿分分離器ドレンタンク水位	(m)

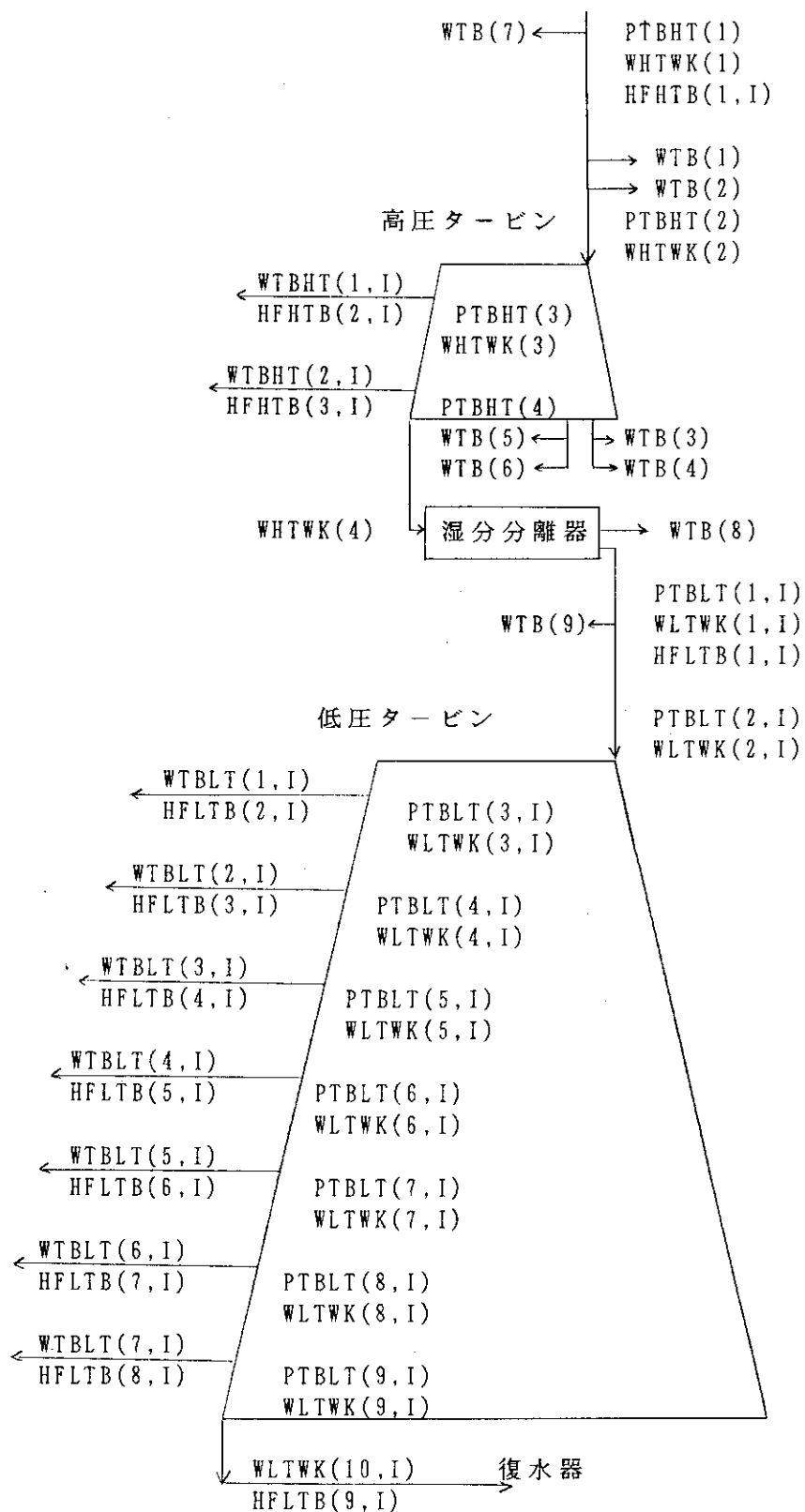
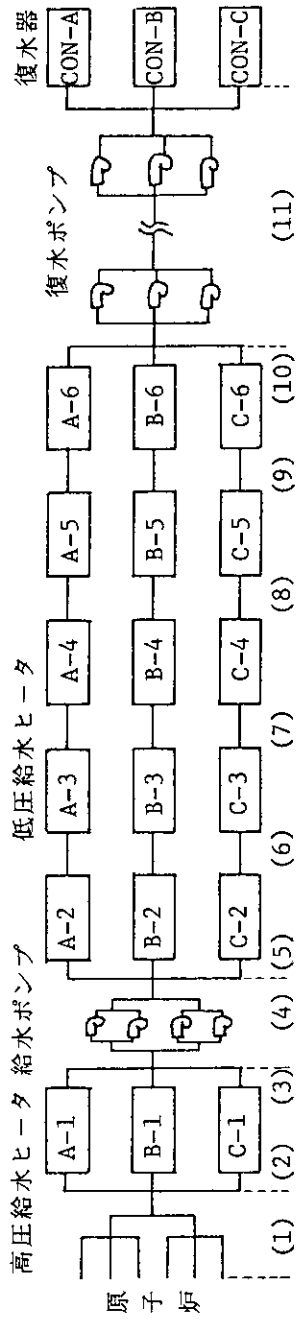
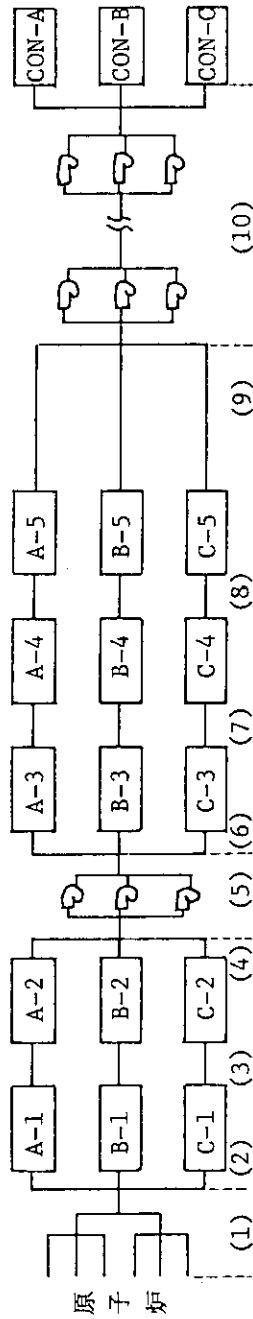


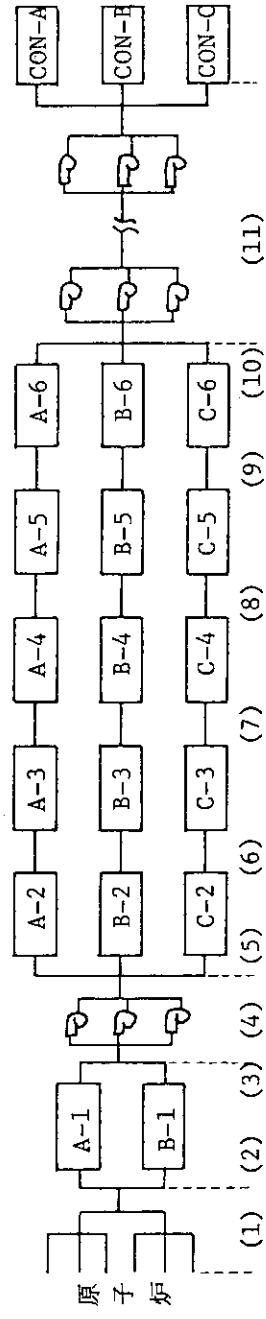
図 5.1 タービン抽気段概略図



(a) タイプ1



(b) タイプ2 : Browns Ferry 炉等 (実際には No.5ヒータの次にドレンクローラがある)



(c) タイプ3 : Lasalle 炉等

図 5.2 給水系統構成概念図 (A, B, C は系統を, (1), (2), ... は入力データー用配管体積の区間を示す)

## 参 考 文 献

- (1) 横林正雄, 石塚 信, 岸 昭正, 若林義宗「JPDR-2の動特性解析コードJPDYN-IV」JAERI-M 8010 (1978).
- (2) 横林正雄, 江連秀夫, 岸 昭正「BWRの中小破断事故時の解析コードJPLEAK」JAERI-M 8520 (1979)
- (3) M. Yokobayashi and Y. Takahashi, "Verification Study of Transient Analysis Code BWRDYN using Startup Test Data of Tokai Unit 2 BWR Plant", Proceedings of ANS Topical Meeting on Anticipated and Abnormal Plant Transient in Light Water Reactors, U.S.A., pp.727-738 (1983)
- (4) 藤木和男, 吉田一雄「BWRDYNコードによるBWR過渡事象解析」私信 (1989)
- (5) M.F. Lyons, et al., ANS Trans. 7 [1] (1964)
- (6) 石川迪夫, 久家靖史, 上林有一郎, 竹内栄次, 大西信秋「軽水動力炉の動特性コード: EUREKA」JAERI-M 3592 (1969)
- (7) 森島淳好, 原山泰雄, 田所啓弘他「燃料設計に必要な物性値及び計算図表-第1集」JAERI-M 2704 (1969)
- (8) J.F. Wilson, et al., ANS Trans. 5 [1] (1962)
- (9) A.A. Armand, et al., AERE Trans. 828 (1959)
- (10) J.E. Hench and S. Lavy, APED-5286 (1986)
- (11) 藤村統一郎, 西田雄彦, 浅井 清編「JSSL (原研版・科学用サブルーチン・ライブラリ) マニュアル」JAERI-M 7102 (1977)
- (12) 三島良績編「軽水炉発電所のあらまし」(財)原子力安全研究協会 (1984)
- (13) A. Stodola "Steam and Gas Turbines with a Supplement on the Prospects of the Thermal Prime Mover", McGraw-Hill, (1927)
- (14) N.H. Larsen, "Core Design and Operating Data for Cycles 1 and 2 of Peach Bottom 2", EPRI NP-563 (1978)
- (15) Browns Ferry Nuclear Plant Final Safety Analysis Report, DOCKET 50259-13 (1970)

## 付録 入力出力例

BWRDYNコードの入出力例としてPeah Bottom炉（但し2次系のヒートバランスはBrowns Ferry 炉<sup>15)</sup>のデータに基づく）を用いた場合を示す。

BWRDYNのソースコードは現在フォートランで約9800行、実行時に必要とされる主記憶容量は1.4 MBであり、原研計算センターのFACOM-M 780 計算機を用いると、この入力に対する計算時間はタイムメッシュ0.05秒で物理時間60秒までにCPU 8.5秒、グラフ出力にCPU 0.37秒を要している。

SAMPLE DATA - FCP TRIP - (PEACH BOTTOM UNIT 2 ) 100Q/100W

\*KSECND

1  
 \*POWER RQF RQCC RQCL  
 3293.0 0.96 0.025 0.015  
 \*LOOP JPUMP JWFCs JRFC JDRY JEC LSTM  
 2 1 1 1 0 0 4

\*WCI WPI WSI WFI PI PTI XCU  
 12915.0 2152.5 1686.0 1679.7 70.71 66.86 0.2  
 \*WLOSS WSAE WSFWP WCUPI WCRD QCUP HCRD  
 0.0 1.39 27.0 33.6 6.3 2090.0 26.7

\*KETA

3  
 \* ETAW(I)  
 0.0 0.2 1.0  
 \* ETAE(I)  
 0.0 0.01 0.08  
 \* RAMDA(I) ALIFE  
 0.0124 0.0305 0.1114 0.3012 1.136 3.012 4.30E-5  
 \* BETA(I) BETAEF  
 0.259E-3 1.484E-3 1.336E-3 2.920E-3 0.983E-3 0.218E-3 7.20E-3  
 \* RF RCI RCO HROD HGAP  
 6.1590E-3 6.210E-3 7.6080E-3 3.657 1.2

\* JMAX KMAX  
 7 764 4 10 12 12  
 \* AVERAGE CHANNEL POWER DISTRIBUTION  
 0.039 0.057 0.067 0.075 0.085 0.099 0.107  
 0.116 0.115 0.106 0.083 0.043  
 \* HOT CHANNEL POWER DISTRIBUTION  
 0.039 0.057 0.067 0.075 0.085 0.099 0.107  
 0.116 0.115 0.106 0.083 0.043  
 \*FPPEAK APEAK RPEAK  
 1.4 1.5 1.24

\* REACTIVITY DATA -----

\* KRVOI KRTF KRMO KRSCO KRSCR  
 7 5 5 6 7  
 \* AV(I) & ARV(I)  
 0.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0  
 -1.01E-3 -1.19E-3 -1.36E-3 -1.53E-3 -1.70E-3 -1.86E-3 -2.02E-3

\* ATF(I) & ARTF(I)  
 286. 537. 1093. 1648. 1926.  
 -1.42E-5 -1.21E-5 -0.98E-5 -0.87E-5 -0.82E-5

\* ATM(I) & ARTM(I)  
 100. 200. 240. 280. 320.  
 -1.02E-4 -2.40E-4 -3.30E-4 -4.50E-4 -5.50E-5

\*RODSC FLUX PRESS LIO.LEV TCV MSIV PRESSS  
 0.156 1.25 74.62 -60.0 0.9 0.9 60.0

\* TSC(I) & RSC(I)  
 0.0 0.20 0.95 2.05 5.05 5.80 8.00  
 1.0 1.0 0.80 0.50 0.10 0.0 0.0

\* GEOMETRICAL DATA -----

\*VCC VCL VSTAG VR VSPO VVO VDO  
 28.0 11.92 12.5 40.0 27.7 31.0 209.8  
 \*VPIN VPOUT VDC VFCP VLP VDJ VDP  
 41.2 125.3 113.5 34.3 59.8 59.0 16.8  
 \*VJ ASTM  
 6.7 0.30  
 \*HDCO HDRO HDVVO HDDCO HDLPO AC AR  
 0.0147 4.0 0.30 0.50 0.85 7.6 10.0  
 \*AVV ADC ALP HRISER HDC HLP HJP



12.0	12.3	10.8	3.79	8.9	2.35	4.92
*ADHM	TAUHM1	TAUHM2	HMLW	HDCLV		
1.0	1.1	0.6	-90.17	3.232		
*TAUHW1	TAUHW2					
1.0	0.5					
*FSFOND	HSPL	HSPUP	HSPLOW	AHSP	HSPRT	RHSP
0.05	1.2	0.3	-0.3	9.3	1.1	1.0
*FHSP	FWSP	FGSP				
0.3	0.5	0.5				
*HCVI	HJPI	HCSI	HRCI	HSPLI	HSPUPI	VSPUPI
7.0	2.5	4.4	16.0	7.5	9.2	165.0
*HLPG						
5.5						
*FHRCIC	FHFW	FHCS	FRSP	FCOND	RATEDC	RATECO
1.0	1.0	1.0	0.16	3.0	0.25	0.25
*KLEVEL	KLEVI	KDHW				
10	7	6				
* HL(I)	-----					
-18.2	-8.1	-3.4	-2.0	-1.3	0.5	2.1
3.0	6.5	9.7				
* VL(I)	-----					
-133.0	-111.0	-56.0	-44.0	-35.0	14.0	32.0
52.0	168.0	236.0				
* HLI(I)	-----					
-5.5	0.0	3.7	5.8	8.0	9.2	9.2
* VLI(I)	-----					
-98.0	0.0	50.0	80.0	90.0	110.0	125.0
* DHW(I)	-----					
-0.04	-0.04	0.03	0.09	0.20	0.31	
* WFW(I)	-----					
0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
*	-----					
* MAIN STEAMLINE SYSTEM	-----					
* TAUST(I)				GTCV	VTCVUP	
4.5	1.5	1.0	0.1	0.65	1.3	
* LTCV	LVISO					
4	5					
* TTCV(I) & CTCV(I)	-----					
0.0	0.1	6.0	10.0			
0.0	-0.93	-1.0	-1.0			
* TVISO(I) & CVISO(I)	-----					
0.0	0.05	0.1	6.0	10.0		
0.0	-0.6	-0.93	-1.0	-1.0		
* WSBI	PBV	DTBV	DTBVO	TAUBPV	GBP	
421.5	73.	0.0	1.0	4.5	1.0	
* KWSRF	KWSSV					
3	1					
* WSRFSV(I)	-----					
98.9	499.4	503.9	233.3			
* PRFSV(I)	-----					
76.7	74.2	77.4	75.0	78.1	75.6	85.8
83.3						
*	-----					
*TADS	-----					
40.0	-----					
*NADS(I)	-----					
1	1	1				
* FEEDWATER CONTROL SYSTEM	-----					
* GWF(I)	-----					
0.00045	0.00045	0.02	1.0	0.0	0.0	
* TAUWF(I)	-----					
1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	0.0

```

60.0      1.0
* LIMIT(I)
  0      0      0      0      0      0      0
* CWF(I)
  0.0      4.0      0.0      4.0      -5.0      2.14      0.0
  0.0      0.0      4.0      0.0      0.0      0.0      1.0
* KWFCV
  2
* WFL(I) & WFCV(I)
  0.7      3.5
  1100.      8100.
* TAUWF1 TAUWF2      KHWF
  45.0      8.0      6
* HWFW(I) & HWFH(I)
  0.10      0.40      0.50      0.75      1.0      1.2
  110.0      147.0      162.0      179.0      195.0      196.0
*ZWFW      ZWFL
  0.95      0.85
*
* RECIRCULATION SYSTEM -----
*SUMIO      SUMIP      SUMIJ      FRICO      FRICP      FRICJ      PJI
  7.0      200.0      15.0      2.000E+4      14.500E+4      3.000E+4      2.100E+4
* QP      PETA      PPI      NPI      GD2      ELOSS
  6.615      0.94      19.500E+4      1668.0      4500.0      300.0
*APQ(I)      APH(I)
  2.30      2.85      3.30      250.0      218.0      188.0
*RCFC(I)
  0.5      1.0      4.0      5.0      1.0      1.2      0.01
* KRM
  6
* RMW(I) & RMM(I)
  0.0      0.3      0.4      0.5      0.7      1.0
  5.0      3.0      2.5      2.2      2.1      2.0
*
* ECCS DATA -----
*WCSO      HCS      TDCS      KCSP
  306.9      25.0      25.0      6
  36.4      25.0      25.0      6
  306.9      25.0      40.0      7
  1337.5      25.0      40.0      7
* PHPC(1,I) & WHPC(1,I) HPCS
  0.0      15.0      75.3      83.0      83.0      90.0
  306.9      306.9      102.0      32.5      0.0      0.0
* PHPC(2,I) & WHPC(2,I) RCIC
  0.0      7.0      10.0      80.0      81.0      82.0
  0.0      0.0      36.0      36.0      0.0      0.0
* PLPC(3,I) & WLPC(3,I) LPCS
  0.0      8.4      13.4      16.2      20.3      20.3      80.0
  430.0      390.0      280.0      190.0      38.0      0.0      0.0
* PLPC(4,I) & WLPC(4,I) LPCI
  0.0      5.6      9.8      13.0      15.0      16.0      80.0
  1382.0      1135.0      852.0      567.0      284.0      0.0      0.0
* CSET(1) CSET(2) CSET(3) CSET(4)
  49.0      -185.0      -480.0      40.0
* ANNUNCIATOR.....
* NANNT
  3
* NANCON ANNOBJ TDANN ANNAME / ANNREF SETANN NACOND
-----
  1 SCRAM 0.      HIGH REACTOR PRESSURE SCRAM
PRES      74.5      1
  1 SCRAM 0.      LOW REACTOR WATER LEVEL SCRAM

```

```

LLIQ      -60.      -1
  2                CHECK FOR TWO SIGNALS
FLUX      0.98     -1
LLIQ      -3.0     -1
*
* CALCULATION CONDITION -----
*Q        W0        P0        MOD
  1.0      1.0      0.0        0
*KTCV    KWF KPTRP KRFV KBPV KECV KHOT KDRY KSPI KECCS KSAT KBRK KDEL KOPT
  0        0        2        0        0        0        0        0        1        0        0        1        1
*TWF1     TWF2     TWF3     TFWPLS
*2.0     10.0     2.0     0.0     0.0     0.0     0.0
*PNSET    TRILOW   TAUPST   HPSET    WCLOW
  0.0     -60.0    10.0    1.0     0.03
*TFCPLS (TRIP TIME)
  0.0     0.0
*TFCPST (RESTART TIME)
  1000.0   1000.0
*FLCDEF(1,1) (1,2) (1,3)
  -0.2     0.01    0.01
*FLCDEF(2,1) (2,2) (2,3)
  0.2     -0.01   -0.01
*ABD      HBD      CD      TBREAK      IBR
*0.03     5.0      1.0      0.0      3
*------(FOR DEBUG)-----
* LOPT(I)      5      10      15      20
*FT CC CL RI SP VV HI FC WS SL WF RE MA EC ST DC HF FU AL WL LE RV GR MC
* 0  1  1  1  1 20  1  1 10  1  1  1  1  1  2  1  1  0  1  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
*-----
* KCHANG(I)
* TCV      PRSET ROW  LEV. ISO  WC  HWF  WF  -  WP2  WP3  CIV HEATER
*  2      0      0      0      1      0      0      0      0      0      0      0      1      0
  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
* CUP  CRD  RHR  HDP  CON  CIR
  0      0      0      0      0      0
* WATER LEVEL SET POINT
*  3
*0.0      1.0      20.
*0.0     -10.     -10.
* TURBINE TRIP
*  4
*0.0      0.05     0.1      30.0
*0.0     -0.8     -1.0     -1.0
*
* SCRAM
  0.0      1.0      0.0
* DT1     DT      TIMAX     TIMDT1     KTCNTL
  0.050   0.050   60.0     210.0     0
* DPRNT   DPRNT1  TIMPRT
  10.0    20.0    30.0
* DWRT    DWRT1   TIMWRT
  2.0     4.0     60.00
* DPLOT1  DPLOT2  TIMPLT     DPRPRT     NPLOT     IGRAPH
  0.10    0.20    20.0     0.00     0      1
*-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7
* IWR1....MINOR EDIT
  19
*-----
FLUX  PRES  WS    WF    RCF  LMTR  LMIX  HB    QFS  XC
ALFC  DHS  HB    XR    ALFR  XV    TFAV  HIN   ROW
* PRINTER PLOT DATA.....

```

```

*IMAX   MM   NTMAX
*   3     8   109
*NOO(I)
*   3     3     2
*   YYP     YPLOW     YPHIGH     RNAME
*-----
*   1 WS      0.0      0.0      STEAM FLOW
*   2 PRES    0.0      0.0      PRESSURE
*   3 FLUX    0.0      0.0      FLUX
*   4 LLIQ    0.0      0.0      LIQUID L.
*   5 LMIX    0.0      0.0      MIXTURE L.
*   6 HWF     0.0      0.0      HWF
*   7 WF      0.0      0.0      F.W.FLOW
*   8 XC      0.0      0.0      XC QUALITY
*-----
*HEIGHT   XWIDE     XLENG     YLENG     FCTR     KFIG JGMAX JGMAX1 KTER
50.0     150.0     30.0     25.0     0.7      6     6     7     1
* JDH YY     YSLOW     YSHIGH     GNAME
*-----
*   1 WS      0.0      0.0      STEAM AND FEEDWATER FLOWS (%)  %
*   2 PRES    0.0      0.0      REACTOR PRESSURE (MPA)          MPA
*   3 FLUX    0.0      0.0      NEUTRON FLUX (%)                %
*   4 RCF     0.0      0.0      CORE INLET FLOW RATE (-)
*   5 HB      0.0      0.0      BOILING BOUNDARY (M)
*   6 GPOWER  0.0      0.0      GENERATOR POWER (MW)
*   1 WF      0.0      0.0      FLOW                             %

```

```

* SECONDARY SYSTEM DATA (BROWNS FERRY NUCLEAR PLANT)-----
* HEAT BALANCE DATA -----
* WTBHT(J,1)
0.0      34.37
* WTBLT(J,1)
13.53    29.84     2.99     25.88     4.56     35.21     9.07
* PTBHT(I)
66.80    62.1      62.1     13.68
* PTBLT(J,1)
12.95    12.67     7.42     4.31     2.31     1.04     0.232
-0.324   -0.667    -0.9
* HFHTB(J,1)
661.7    609.0     609.0
* HFLTB(J,1)
656.7    637.3     620.4     605.3     591.6     579.7     568.6
560.0    500.0
*NWTBHT(1)-(2) NWTBLT(1)-(7)
* H1 H2 L1 L2 L3 L4 L5 L6 L7
  0  1  2  3  4  4  5  5  7
* NMS     VHLTB     CTBCRS
1800.     18.0      9.0
* T1HTB   TEHCO     ITB      ATB      LTBM     LTBE
2.0      1.1000E+06 1800.    2.0      4500.0   0.0118
* TWHTL(I)
10.00    10.00
* TWLTL(J,1)
10.00    10.00     10.00     10.00     10.00     10.00
* LTCV
  5
* TCIV(I) & CCIV(I)
0.0      0.05     0.1      7.0      10.0
0.0      -0.7     -0.92    -1.0     -1.0

```

```

* WTB(I),I=1,10
1.466      0.4040      0.5250      0.4540      0.5250      0.4540      1.950
163.8      28.00      0.0
* HTB(I),I=1,10
661.9      661.9      609.1      609.1      609.1      609.1      661.9
197.3      520.7      0.0
* NWTB(I),I=1,10
*   C1   C2   C3   C4   C5   C6   C7   C8   C9   C10
   2     7     7     7     7     7     7     2     0     0
* FEEDWATER HEATERS.....
* NFWH NFWHS NHPFWH NFWP NMOIS
   5     3     3     2     2
* VFHW(I,J,1) FEEDWATER VOLUME INSIDE U-TUBE (M3)
0.5      0.5      0.5      0.5      1.0
4.812    6.445    4.410    5.850    5.780
* VFHC(I,1) COOLING ZONE VOLUME (M3)
1.4      1.335    2.163    2.350    2.668
* CFHR(I,1) FLOW COEF. OF RELIEF VALVE
0.5      1.5      2.0      2.5      3.0
* CFHPU(I) UPPER PRESOF RELIEF VALVE
20.0     12.0     7.0      3.5      3.5
* CFHPD(I) LOWER PRES OF RELIEF VALVE
3.00     1.20     1.00     0.7      0.6
* CFHV(I) F.W PIPE VOLUME
43.00    5.000    17.00    44.50    4.00     14.00     18.00
29.00    10.00    250.0
* WFDO(I,1) F.W.H DRAIN FLOW (KG/S)
34.37    103.4    133.6    162.5    202.6
* HFHC(I,1) F.W.H COOLING ZONE ENTHALPY (KCAL/KG)
172.8    154.9    120.7    89.11    44.77
* HFHW(I,J,1) F.W ENTHALPY (KCAL/KG)
168.1    150.3    114.9    83.55    39.22
* PHFW(I,1) HTR CONDENSING ZONE PRES(ATG)
12.94    6.74     3.87     0.87     -0.378
* AFHCL(I,1) COOLING ZONE HEATING AREA(M2)
120.0    161.0    150.0    160.0    250.0
* AFHCO(I,1) CONDENSE ZONE HEATING AREA (M2)
1200.0   1610.0   1500.0   1600.0   2500.0
* LFHP(I)
-0.025   10.25    0.05     -0.175   -0.95    0.0
*CFHDP
0.95
*CCONT(1) VCON(1)   HCONO(1)  PCONG(1)  PCON(1)   TCWO(1)
5.000    343.0    33.20    0.0      -0.95     33.50
*WMSI(1,1) VCIV(1,1) WMSO(1,1) HMSO(1)  WMSDO(1)
394.2    1.000    235.5    656.7    81.9
*HMSDT(1) PMSI(1)   PMSO(1)  VMSDT(1)
197.3    13.68    12.94    4.0
* WCW(1)   TCWI(1)
2.1822E+4 26.00
* CONTROL CONSTANT -----
* VWFH(I,1)
0.4000    0.4000    0.4000    0.4000    0.4000
* WFHT1(I,1)
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
* WFHT2(I,1)
0.000    0.000    0.000    0.000    0.000
* WFHT3(I,1)
50.00    50.00    50.00    50.00    50.00
* WFHT4(I,1)
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
* WFHT5(I,1)

```

```

0.5000    0.5000    0.5000    0.5000    0.5000
* WFHG1(I,1)
40.00    40.00    40.00    40.00    40.00
* WFHG2(I,1)
1.000    1.000    1.000    1.000    1.000
* WFHG3(I,1)
1.000    1.000    1.000    1.000    1.000
* WFHLS(I,1)
0.1750    0.1750    0.1750    0.1750    0.1750
*G1MS(1)  G2MS(1)  G3MS(1)
25.00    1.00    1.00
*T1MS(1)  T2MS(1)  T3MS(1)  T4MS(1)  T5MS(1)  VMSD(1)
1.0      1.0      50.00    1.0      1.0      0.400
* LEVEL VS. VOLUME FOR FWH LEVEL-----
* NCFHR NCCON NCMS
   6   3   6
* NO.1 HEATER CFHRV(I,1) & CFHRL(I,1)
0.0      2.0      5.0      7.0      10.0     14.0
0.0      0.3      0.8      1.0      1.3      1.8
* NO.2 HEATER CFHRV(I,2) & CFHRL(I,2)
0.0      3.0      7.0      10.0     14.0     18.0
0.0      0.4      0.8      1.1      1.4      1.7
* NO.3 HEATER CFHRV(I,3) & CFHRL(I,3)
0.0      3.0      7.0      10.0     14.0     18.0
0.0      0.4      0.8      1.1      1.4      1.7
* NO.4 HEATER CFHRV(I,4) & CFHRL(I,4)
0.0      5.0      10.0     15.0     20.0     25.0
0.0      0.5      0.9      1.2      1.4      1.8
* NO.5 HEATER CFHRV(I,5) & CFHRL(I,5)
0.0      5.0      10.0     15.0     20.0     25.0
0.0      0.5      0.9      1.2      1.4      1.8
* LEVEL VS. VOLUME FOR CONDENSER LEVEL-----
* CCONV(I) CCONL(I)
0.0      300.0    500.0
0.0      0.8      1.3
* LEVEL VS. VOLUME FOR MOISTURE SEPARATOR LEVEL-----
* CMSV(I) CMSL(I)
0.0      4.0      15.0     40.0     100.0    120.0
0.0      2.7      3.2      3.8      5.2      6.0
*-----
* IWR2 ISOPT ITBW KTOPT RDSND      DTSND      EPSND
   17   0   1   1  10.0    0.20     1.0E-5
* -1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9-----10-----
TCON1  PCON1  LHTR1  LHTR2  LHTR3  LHTR4  LHTR5  HFHD1  HFHD2  HFHD3
HFHD4  HFHD5  TWFO1  TWFO2  TWFO3  TWFO4  TWFO5
* KTOPT(I)
*  M2  HTR   TB  CON      ST2
   1   1   1   1      1   0   0   0   0

```

SAMPLE DATA ~ FCP TRIP ~ (PEACH BOTTOM UNIT 2 ) 100Q/100W

\*\*\* BWRDYN \*\*\*

\*\*\*\*\* MAIN NUMERICAL VALUE AT NORMAL OPERATION \*\*\*\*\*

REACTOR POWER 786661.50 KCAL/SEC ( 3293.0 MW )  
 REACTOR PRESSURE 70.71 KG/CM2.G ( 1020.0 PSIA )  
 STEAM FLOW 1682.91 KG/SEC ( 6058.5 T/H )  
 FEEDWATER FLOW 1676.61 KG/SEC ( 6035.8 T/H )  
 FEEDWATER ENTHALPY 195.00 KCAL/KG ( 191.52 DEG.C )  
 CORE INLET FLOW 12915.00 KG/SEC ( 46494.0 T/H )  
 CORE INLET ENTHALPY 289.64 KCAL/KG ( 275.36 DEG.C )  
 CORE INLET SUBCOOLING 13.4775 KCAL/KG ( 10.7375 DEG.C )

FLOW DISTRIBUTION (KG/SEC)

CORE INLET	CHANNEL EXIT	CORE UPPER PLENUM ( RISER )	SEPARATOR	VESSEL SAT. REGION
WC = 1.2915E+04	WTC = 1.1882E+04	INLET		WTV = 1.1232E+04
WCC = 1.1882E+04	WFC = 1.0169E+04	WFCR = 1.1210E+04	WFSP = 1.1210E+04	WV = 1.1210E+04
WCL = 1.0332E+03	WGC = 1.7133E+03	WGR = 1.7054E+03	WGSP = 2.2464E+01	WGV = 2.2464E+01
(ETA = 8.000)	(XC = 14.42)	(XR = 13.20)	WGD = 1.6829E+03	(XV = 0.200 )

STEAM TABLE AT NORMAL PRESSURE

TEMPERATURE (DEG.C)	ENTHALPY (KCAL/KG)	SPECIFIC VOLUME (M3/KG)
TSAT = 286.102	HF = 303.114	VF = 0.0013238
	HG = 662.331	VG = 0.0272317
	HFG = 359.217	VFG = 0.0259078
	(KCAL/KG)/(KG/CM2)	(M3/KG)/(KG/CM2)
	DHF/DP = 1.203475	DVF/DP = 0.20153E-05
	DHG/DP = -0.296211	DVG/DP = -0.42493E-03
		VS = 0.0013193 ( AT 289.64 KCAL/KG )

\*\*\* BWRDYN \*\*\* SAMPLE DATA - FCP TRIP - (PEACH BOTTOM UNIT 2) 1000/100W

TIME= 0.0 (SEC)

POWER (FLUX) 100.00 % REACTOR PRESSURE 70.71 KG/CM2.G (PDDT=-9.840E-05 )  
 (HEAT FLUX) 100.00 %  
 CORE INLET FLOW 100.00 % STEAM FLOW 100.00 % (WST = 1.0000 WSB= 0.0 )  
 (WSRF= 0.0 )  
 (WSSV= 0.0 )  
 CORE INLET ENTHALPY 289.64 KCAL/KG FEEDWATER FLOW 100.00 %  
 ( 275.36 DEG.C) FEEDWATER ENTHALPY 195.00 KCAL/KG  
 CORE INLET SUBCOOLING ( 13.478 KCAL/KG WATER LEVEL (NARROW) 0.0 CM  
 ( 10.738 DEG.C) WATER LEVEL (WIDE) 0.0 CM  
 TOTAL VOID VOLUME 38.396 M3 (MIXL= 0.0 )  
 TOTAL MASS BALANCE 0.000 TON (LIQL= 0.0 )

\*\*\* NORMALIZED FLOW DISTRIBUTION \*\*\*\*

CORE INLET CHANNEL EXIT CORE UPPER PLENUM (RISER) SEPARATOR FREE SURFACE REGION  
 INLET EXIT  
 WTC = 1.0000E+00 WTR = 9.9999E-01 WTV = 1.0000E+00  
 WCC = 1.0000E+00 WFCR = 1.0000E+00 WFR = 9.9999E-01 WFW = 1.0000E+00  
 WCL = 1.0000E+00 WGC = 9.9998E-01 WGR = 9.9999E-01 WGSP = 1.0000E+00  
 WGD = 9.9999E-01  
 (ETA = 8.000) (XC = 14.42) (XR = 13.20) (XV = 0.200 )  
 (ALFC = 25.43) (ALFR = 64.80)

\*\*\* CORE AVERAGE CHANNEL \*\*\*\* BOILING BOUNDARY ... 1.0596 (M)

REGION	POWER (W/CM)	FUEL.C	TEMPERATURE CLAD	COOLANT	FLOW:		SFC
					QUALITY	VOID	
1	130.55	619.09	295.07	278.31	1.0000	0.0	0.0
2	170.39	752.99	303.12	282.12	1.0000	0.0	0.0
3	197.30	853.35	309.86	286.10	1.0000	0.159	0.1026
4	226.91	964.98	312.90	286.10	1.0000	1.940	1.0000
5	260.56	1101.08	316.31	286.10	1.0000	3.985	1.0000
6	289.90	1227.63	319.24	286.10	1.0000	6.261	1.0000
7	306.45	1302.10	320.88	286.10	1.0000	8.666	1.0000
8	300.26	1274.00	320.27	286.10	1.0000	11.023	1.0000
9	259.89	1098.27	316.24	286.10	1.0000	13.063	1.0000
10	172.67	766.25	307.29	286.10	1.0000	14.419	1.0000

\*\*\* HOT CHANNEL \*\*\*\* BOILING BOUNDARY ... 0.9983 (M)

REGION	POWER (W/CM)	FUEL.C	TEMPERATURE CLAD	COOLANT	FLOW:		CHFR
					QUALITY	VOID	
1	106.25	546.10	291.82	277.75	1.0000	0.0	H-L
2	192.28	829.41	305.32	282.03	1.0000	0.0	11.3694
3	250.41	1059.01	315.29	286.10	1.0000	0.528	6.2826
4	314.35	1338.38	321.66	286.10	1.0000	2.978	4.8243
5	387.01	1690.56	328.75	286.10	1.0000	5.996	3.8430
6	450.38	2012.81	334.82	286.10	1.0000	9.507	3.1215
7	486.13	2193.76	338.20	286.10	1.0000	13.297	2.3847
8	472.76	2126.46	336.94	286.10	1.0000	16.982	1.8985
9	385.56	1683.25	328.61	286.10	1.0000	19.988	1.6414
10	197.22	853.07	309.85	286.10	1.0000	21.526	1.7018

MCHFR = 1.6414



\*\*\* BWRDYN \*\*\* SAMPLE DATA - FCP TRIP - (PEACH BOTTOM UNIT 2 ) 100Q/100W

\*\*\*\* HEATER & TURBINE & CONDENSER SYSTEM \*\*\*\*

TIME= 0.0 (SEC)

\*\*\* HEATER \*\*\*

	BODY PRESSURE (KG/CM2.G)				
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5
1SYS	12.550	5.834	4.036	1.017	-0.271
2SYS	12.550	5.834	4.036	1.017	-0.271
3SYS	12.550	5.834	4.036	1.017	-0.271

FEEDWATER OUTLET & (HEATER DRAIN) TEMPERATURE (DEG.C)

	NO.1					NO.2					NO.3					NO.4					NO.5							
	1SYS	189.88	164.67	158.12	152.92	149.74	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	117.40	91.67	87.62	42.15	117.40	91.67	87.62
2SYS	189.88	164.67	158.12	152.92	149.74	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	117.40	91.67	87.62	42.15	117.40	91.67	87.62	42.15
3SYS	189.88	164.67	158.12	152.92	149.74	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	158.12	152.92	149.74	149.74	121.60	117.40	91.67	87.62	42.15	117.40	91.67	87.62	42.15

HEATER WATER LEVEL (%)

	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5
1SYS	50.29	48.44	47.73	47.36	47.82
2SYS	50.29	48.44	47.73	47.36	47.82
3SYS	50.29	48.44	47.73	47.36	47.82

\*\*\* TURBINE \*\*\*

TURBINE SPEED	1800.0 (RPM)
GENERATOR POWER	1117.8 (MW)
HP-TB INLET STEAM FLOW RATE	1678.4 (KG/SEC)
LP-TB INLET STEAM FLOW RATE	1366.6 (KG/SEC)

BLEED STEAM FLOW RATE (KG/SEC)

	1ST	2ND	3RD	4TH	5TH	6TH	7TH
HP-TB	0.0	38.97					
LP-TB NO.1	15.89	22.91	2.88	16.72	4.45	20.91	9.09
LP-TB NO.2	15.89	22.91	2.88	16.72	4.45	20.91	9.09
LP-TB NO.3	15.89	22.91	2.88	16.72	4.45	20.91	9.09

\*\*\* CONDENSER \*\*\*

	TEMPERATURE (DEG.C)	WATER LEVEL (M)
NO.1	36.18	0.9074
NO.2	36.18	0.9074
NO.3	36.18	0.9074

\*\*\* MOISTURE SEPARATOR \*\*\*

	WATER LEVEL (M)	TEMPERATURE (DEG.C)	PRESSURE (KG/CM2.G)	STEAMFLOW RATE (KG/SEC)
NO.1	2.7041	195.75	13.50	779.79
NO.2	2.7041	195.75	13.50	779.79

SAMPLE DATA - FCP TRIP - (PEACH BOTTOM UNIT 2) 100Q/100W														
TIME (SEC)	*** BWRDYN *** FLUX (-)	PRES (KG/CM2.G)	WS (-)	WF (-)	RCF (-)	LMTR (CM)	LMIX (CM)	HB (M)	QFS (-)	PAGE	15 XC (%)			
0.0	1.0000E+00	7.0710E+01	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	0.0	0.0	1.0596E+00	1.0000E+00	89-03-17	1.4419E+01			
2.00	5.3234E-01	7.0649E+01	9.984E-01	9.998E-01	8.1599E-01	2.0386E+00	1.0687E+01	9.7708E-01	9.4411E-01		1.6022E+01			
4.00	3.5224E-01	7.0062E+01	9.6072E-01	9.8886E-01	6.8497E-01	1.0000E+01	2.1231E+01	9.2000E-01	8.2302E-01		1.7140E+01			
6.00	2.9871E-01	6.9143E+01	8.7029E-01	9.4810E-01	6.0458E-01	1.3313E+01	2.8708E+01	8.9340E-01	7.1960E-01		1.7194E+01			
8.00	3.0958E-01	6.8252E+01	7.5622E-01	8.8618E-01	5.6737E-01	1.2226E+01	2.9778E+01	9.0827E-01	6.3807E-01		1.6588E+01			
10.00	4.0918E-01	6.7659E+01	6.5294E-01	8.2358E-01	5.4877E-01	8.3842E+00	2.5398E+01	9.6029E-01	5.9053E-01		1.5601E+01			
12.00	5.3802E-01	6.7475E+01	5.8960E-01	7.7540E-01	5.3391E-01	5.2105E+00	2.0023E+01	1.0122E+00	5.8263E-01		1.5257E+01			
14.00	5.4620E-01	6.7569E+01	5.7847E-01	7.4402E-01	5.1271E-01	5.7648E+00	1.7741E+01	1.0417E+00	5.8642E-01		1.5674E+01			
16.00	5.4239E-01	6.7613E+01	5.9026E-01	7.2534E-01	4.9537E-01	9.1933E+00	1.8569E+01	1.0634E+00	5.8323E-01		1.6019E+01			
18.00	5.1981E-01	6.7550E+01	5.9132E-01	7.1521E-01	4.7807E-01	1.2613E+01	2.1044E+01	1.0703E+00	5.7679E-01		1.6292E+01			
20.00	4.9731E-01	6.7453E+01	5.7980E-01	7.0499E-01	4.6127E-01	1.5416E+01	2.3552E+01	1.0755E+00	5.6506E-01		1.6504E+01			
22.00	4.8605E-01	6.7361E+01	5.6400E-01	6.8678E-01	4.4566E-01	1.7336E+01	2.5508E+01	1.0824E+00	5.5272E-01		1.6649E+01			
24.00	4.7762E-01	6.7286E+01	5.4932E-01	6.6339E-01	4.3121E-01	1.9217E+01	2.7083E+01	1.0899E+00	5.4143E-01		1.6788E+01			
26.00	4.7438E-01	6.7220E+01	5.3673E-01	6.4212E-01	4.1798E-01	2.0688E+01	2.8471E+01	1.0984E+00	5.3127E-01		1.6929E+01			
28.00	4.6283E-01	6.7161E+01	5.2352E-01	6.2543E-01	4.0651E-01	2.2031E+01	2.9788E+01	1.1073E+00	5.2201E-01		1.7009E+01			
30.00	4.6080E-01	6.7100E+01	5.1462E-01	6.1096E-01	3.9610E-01	2.3269E+01	3.1030E+01	1.1117E+00	5.1343E-01		1.7089E+01			
32.00	4.5787E-01	6.7049E+01	5.0427E-01	5.9631E-01	3.8678E-01	2.4407E+01	3.2176E+01	1.1270E+00	5.0638E-01		1.7178E+01			
34.00	4.5453E-01	6.7008E+01	4.9352E-01	5.8121E-01	3.7842E-01	2.5342E+01	3.3236E+01	1.1358E+00	5.0010E-01		1.7268E+01			
36.00	4.6096E-01	6.6973E+01	4.8303E-01	5.6664E-01	3.7055E-01	2.6640E+01	3.4229E+01	1.1434E+00	4.9535E-01		1.7394E+01			
38.00	4.5287E-01	6.6952E+01	4.8240E-01	5.5334E-01	3.6390E-01	2.7737E+01	3.5193E+01	1.1497E+00	4.9168E-01		1.7534E+01			
40.00	4.5142E-01	6.6926E+01	4.7788E-01	5.4108E-01	3.5795E-01	2.8838E+01	3.6121E+01	1.1577E+00	4.8750E-01		1.7630E+01			
42.00	4.5126E-01	6.6898E+01	4.7285E-01	5.2962E-01	3.5268E-01	2.9769E+01	3.6999E+01	1.1655E+00	4.8436E-01		1.7714E+01			
44.00	4.5042E-01	6.6877E+01	4.6803E-01	5.1875E-01	3.4799E-01	3.0635E+01	3.7827E+01	1.1728E+00	4.8175E-01		1.7800E+01			
46.00	4.5045E-01	6.6861E+01	4.6419E-01	5.0795E-01	3.4384E-01	3.1473E+01	3.8546E+01	1.1799E+00	4.7961E-01		1.7882E+01			
48.00	4.5006E-01	6.6848E+01	4.6112E-01	4.9746E-01	3.4014E-01	3.2238E+01	3.9179E+01	1.1865E+00	4.7784E-01		1.7959E+01			
50.00	4.4943E-01	6.6835E+01	4.5841E-01	4.8782E-01	3.3686E-01	3.2904E+01	3.9719E+01	1.1926E+00	4.7630E-01		1.8032E+01			
52.00	4.4945E-01	6.6823E+01	4.5590E-01	4.7911E-01	3.3395E-01	3.3455E+01	4.0145E+01	1.1982E+00	4.7501E-01		1.8098E+01			
54.00	4.4930E-01	6.6813E+01	4.5368E-01	4.7105E-01	3.3137E-01	3.3891E+01	4.0458E+01	1.2034E+00	4.7393E-01		1.8158E+01			
56.00	4.4899E-01	6.6805E+01	4.5181E-01	4.6349E-01	3.2909E-01	3.4224E+01	4.0668E+01	1.2080E+00	4.7298E-01		1.8213E+01			
58.00	4.4842E-01	6.6797E+01	4.5020E-01	4.5651E-01	3.2707E-01	3.4458E+01	4.0784E+01	1.2120E+00	4.7212E-01		1.8262E+01			
60.00	4.4811E-01	6.6791E+01	4.4877E-01	4.5018E-01	3.2529E-01	3.4592E+01	4.0808E+01	1.2154E+00	4.7130E-01		1.8304E+01			

SAMPLE DATA - FCP TRIP - (PEACH BOTTOM UNIT 2) 100Q/100W

TIME (SEC)	TC0N1 (DEG.C)	PC0N1 (KG/GM2.G)	LHTR1 (%)	LHTR2 (%)	LHTRS (%)	LHTR4 (%)	LHTRS (%)	LFHD1 (KCAL/KG)	LFHD2 (KCAL/KG)	LFHD3 (KCAL/KG)
0.0	3.6180E+01	-9.3797E-01	1.7602E-01	1.6955E-01	1.6705E-01	1.6576E-01	1.6739E-01	1.9567E+02	1.6459E+02	1.5239E+02
2.00	3.6303E+01	-9.3753E-01	1.7555E-01	1.7555E-01	1.7253E-01	1.7241E-01	1.7063E-01	1.9568E+02	1.6391E+02	1.5158E+02
4.00	3.6398E+01	-9.3719E-01	1.7563E-01	1.8360E-01	1.8073E-01	1.7682E-01	1.7451E-01	1.9562E+02	1.6736E+02	1.5174E+02
6.00	3.6435E+01	-9.3706E-01	1.7518E-01	1.7471E-01	1.7748E-01	1.7907E-01	1.7910E-01	1.9502E+02	1.6859E+02	1.5243E+02
8.00	3.6395E+01	-9.3720E-01	1.7339E-01	1.6748E-01	1.6679E-01	1.6869E-01	1.7107E-01	1.9372E+02	1.6456E+02	1.5136E+02
10.00	3.6265E+01	-9.3767E-01	1.7167E-01	1.6888E-01	1.6934E-01	1.6888E-01	1.6786E-01	1.9203E+02	1.6221E+02	1.4955E+02
12.00	3.6079E+01	-9.3832E-01	1.7054E-01	1.7390E-01	1.7152E-01	1.6993E-01	1.7045E-01	1.9013E+02	1.6253E+02	1.4767E+02
14.00	3.5895E+01	-9.3897E-01	1.6987E-01	1.7404E-01	1.7419E-01	1.7316E-01	1.7245E-01	1.8815E+02	1.6374E+02	1.4634E+02
16.00	3.5752E+01	-9.3947E-01	1.6937E-01	1.7220E-01	1.7243E-01	1.7193E-01	1.7296E-01	1.8616E+02	1.6390E+02	1.4500E+02
18.00	3.5646E+01	-9.3984E-01	1.6895E-01	1.6822E-01	1.7031E-01	1.7070E-01	1.7140E-01	1.8418E+02	1.6264E+02	1.4346E+02
20.00	3.5522E+01	-9.4017E-01	1.6855E-01	1.6730E-01	1.6676E-01	1.6760E-01	1.6963E-01	1.8220E+02	1.6056E+02	1.4139E+02
22.00	3.5453E+01	-9.4051E-01	1.6829E-01	1.7295E-01	1.7145E-01	1.6899E-01	1.6855E-01	1.8030E+02	1.6102E+02	1.3956E+02
24.00	3.5346E+01	-9.4088E-01	1.6819E-01	1.7297E-01	1.7427E-01	1.7314E-01	1.7361E-01	1.7849E+02	1.6224E+02	1.3839E+02
26.00	3.5118E+01	-9.4127E-01	1.6816E-01	1.6816E-01	1.7129E-01	1.7190E-01	1.7378E-01	1.7680E+02	1.6166E+02	1.3720E+02
28.00	3.5022E+01	-9.4166E-01	1.6811E-01	1.6661E-01	1.6692E-01	1.6813E-01	1.7040E-01	1.7523E+02	1.5955E+02	1.3582E+02
30.00	3.5002E+01	-9.4203E-01	1.6809E-01	1.7121E-01	1.6962E-01	1.6812E-01	1.6871E-01	1.7378E+02	1.5927E+02	1.3497E+02
32.00	3.4885E+01	-9.4243E-01	1.6815E-01	1.7337E-01	1.7474E-01	1.7285E-01	1.7177E-01	1.7243E+02	1.6051E+02	1.3504E+02
34.00	3.4771E+01	-9.4284E-01	1.6825E-01	1.7145E-01	1.7327E-01	1.7379E-01	1.7464E-01	1.7119E+02	1.6086E+02	1.3512E+02
36.00	3.4667E+01	-9.4319E-01	1.6847E-01	1.6723E-01	1.6920E-01	1.7110E-01	1.7229E-01	1.7016E+02	1.5938E+02	1.3455E+02
38.00	3.4563E+01	-9.4354E-01	1.6903E-01	1.6888E-01	1.6844E-01	1.6846E-01	1.6950E-01	1.6948E+02	1.5825E+02	1.3371E+02
40.00	3.4454E+01	-9.4390E-01	1.6979E-01	1.7363E-01	1.7329E-01	1.7113E-01	1.7027E-01	1.6907E+02	1.5903E+02	1.3349E+02
42.00	3.4346E+01	-9.4426E-01	1.7052E-01	1.7300E-01	1.7442E-01	1.7464E-01	1.7447E-01	1.6880E+02	1.5981E+02	1.3352E+02
44.00	3.4247E+01	-9.4459E-01	1.7099E-01	1.7030E-01	1.7211E-01	1.7301E-01	1.7404E-01	1.6851E+02	1.5937E+02	1.3318E+02
46.00	3.4156E+01	-9.4489E-01	1.7123E-01	1.6868E-01	1.6870E-01	1.7029E-01	1.7169E-01	1.6826E+02	1.5794E+02	1.3253E+02
48.00	3.4077E+01	-9.4518E-01	1.7146E-01	1.7306E-01	1.7180E-01	1.7012E-01	1.7000E-01	1.6810E+02	1.5802E+02	1.3227E+02
50.00	3.3977E+01	-9.4548E-01	1.7176E-01	1.7416E-01	1.7540E-01	1.7449E-01	1.7342E-01	1.6798E+02	1.5898E+02	1.3259E+02
52.00	3.3896E+01	-9.4574E-01	1.7198E-01	1.7229E-01	1.7386E-01	1.7451E-01	1.7527E-01	1.6783E+02	1.5913E+02	1.3265E+02
54.00	3.3827E+01	-9.4597E-01	1.7201E-01	1.6896E-01	1.7019E-01	1.7198E-01	1.7306E-01	1.6761E+02	1.5794E+02	1.3221E+02
56.00	3.3761E+01	-9.4618E-01	1.7201E-01	1.7185E-01	1.7031E-01	1.6981E-01	1.7057E-01	1.6746E+02	1.5737E+02	1.3177E+02
58.00	3.3692E+01	-9.4641E-01	1.7222E-01	1.7484E-01	1.7523E-01	1.7342E-01	1.7199E-01	1.6741E+02	1.5824E+02	1.3203E+02
60.00	3.3628E+01	-9.4661E-01	1.7249E-01	1.7378E-01	1.7514E-01	1.7548E-01	1.7564E-01	1.6737E+02	1.5880E+02	1.3230E+02

LEGEND:  
 H, h = Enthalpy, Btu/Lb.,  
 $\dot{m}$  = Flow, Lb/Hr.  
 P = Pressure, PSIA  
 F = Temperature, F degrees  
 M = Moisture, %

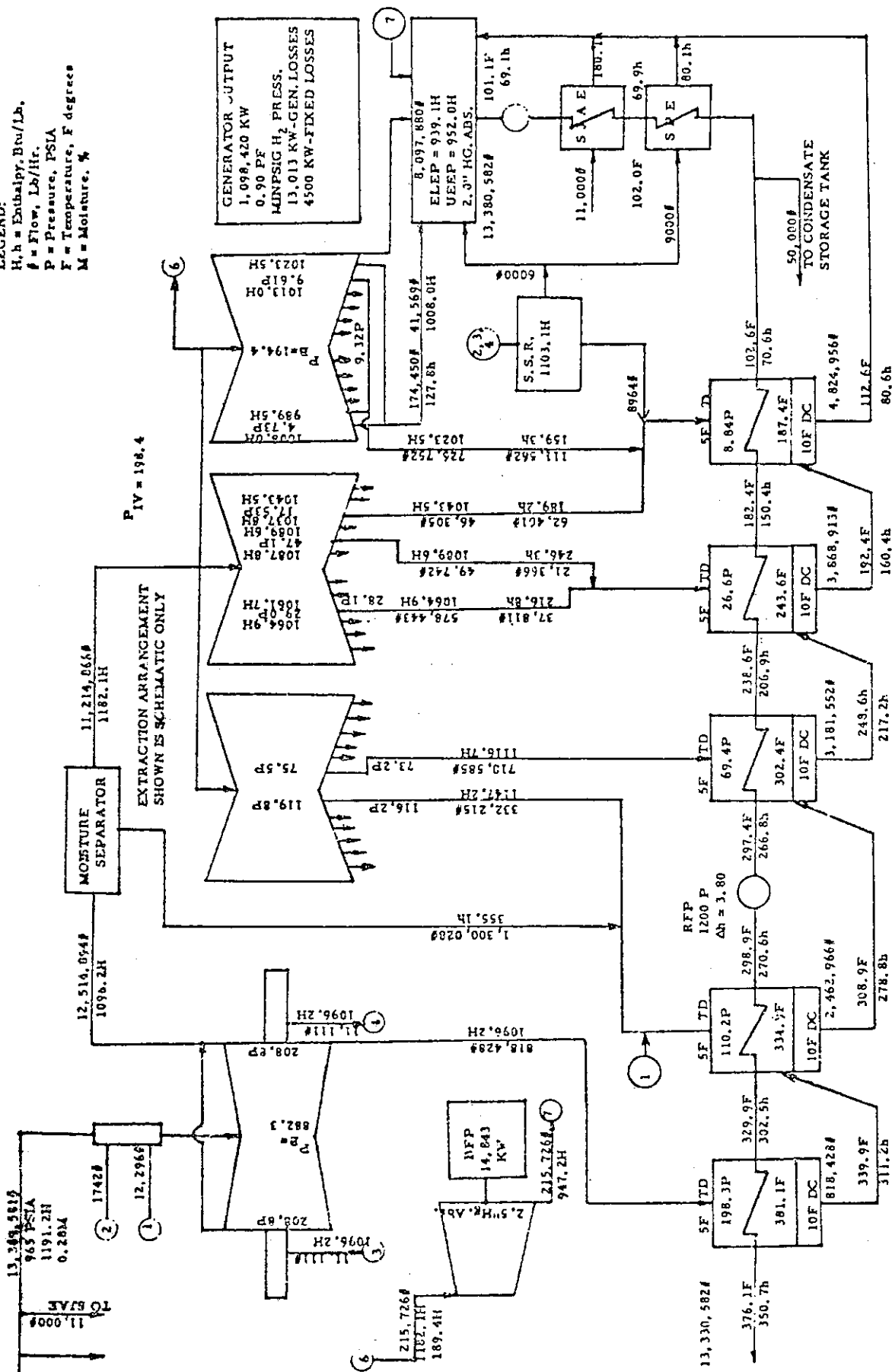
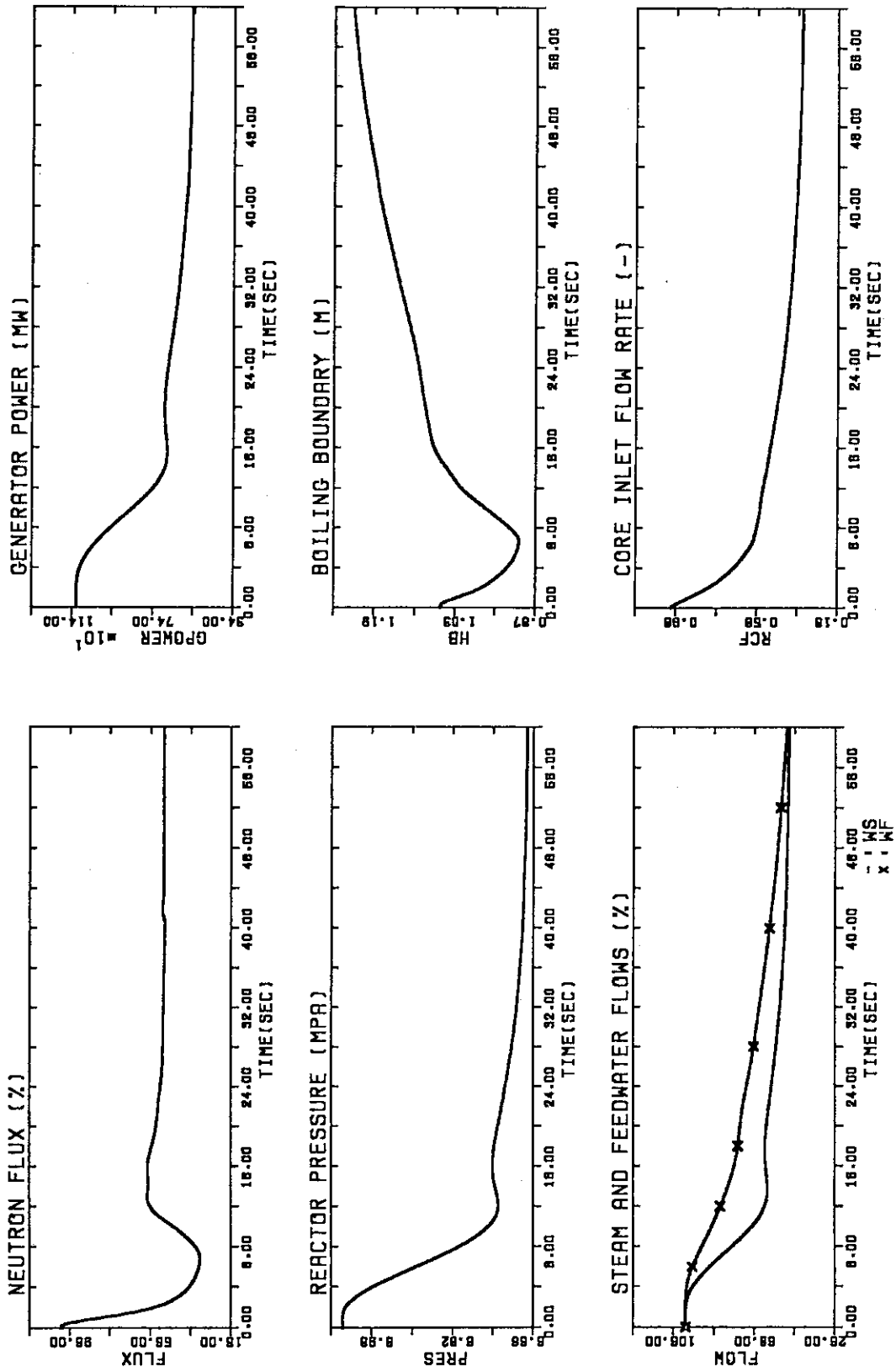


図 A.1 入力データに用いた Browns Ferry 炉のヒートバランス (文献 (15) による)



SAMPLE DATA - FCP TRIP - (PEACH BOTTOM UNIT 2 ) 100G/100W

図A.2 グラフ出力例