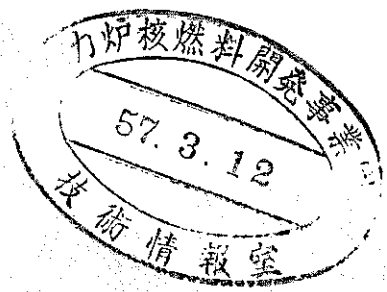


高速増殖炉プラント動特性解析コードの概要

昭和56年11月



動力炉・核燃料開発事業団

目 次

1. 概 要	1
2. 計算モデル	4
2.1 原子炉部の核熱モデル	
2.2 中間熱交換器の熱伝達モデル	
2.3 1次主冷却系の循環モデル	
2.4 補助冷却系モデル	
2.5 2次主冷却系の循環モデル	
2.6 蒸気発生器システムの水／蒸気系	
3. 検証結果	28

1. 概 要

プラント動特性解析コード(COPD)は、もんじゅプラント全系の主要なプロセス量の過渡特性を求めるコードである。

このコードは第1図に示すように、原子炉容器、高温側配管、低温側配管、中間熱交換器及び1次主循環ポンプの1次主冷却系の模擬及び中間熱交換器、高温側配管、低温側配管、空気冷却器、蒸気発生器及び2次主循環ポンプの2次主冷却系の模擬及び蒸気発生器、気水分離器、タービン及び主給水ポンプの水/蒸気系の模擬をしている。又、プラント制御系、安全保護系、プラントインターロックの模擬を含んでいる。

各モデルは高速実験炉「常陽」及び50MW蒸気発生器試験施設等の実測データにて、比較検討し妥当性を確認している。

このコードは、ループ間に異った条件が存在する場合の異常な過渡変化等の事故解析およびプラント制御系、安全保護系設計解析に用いられる。

本コードは、解析目的により、本コード内に含まれる次のサブコードを組み合わせて扱われる。第2図に概略を示す。

(1) COPD-3A

本サブコードは1次、2次系冷却系流量を入力して、3ループ非対称の伝熱流動計算を行う動特性解析コードである。

このコードは、制御系設計解析及び安全保護系設計解析に用いられる。

(2) COPD-1

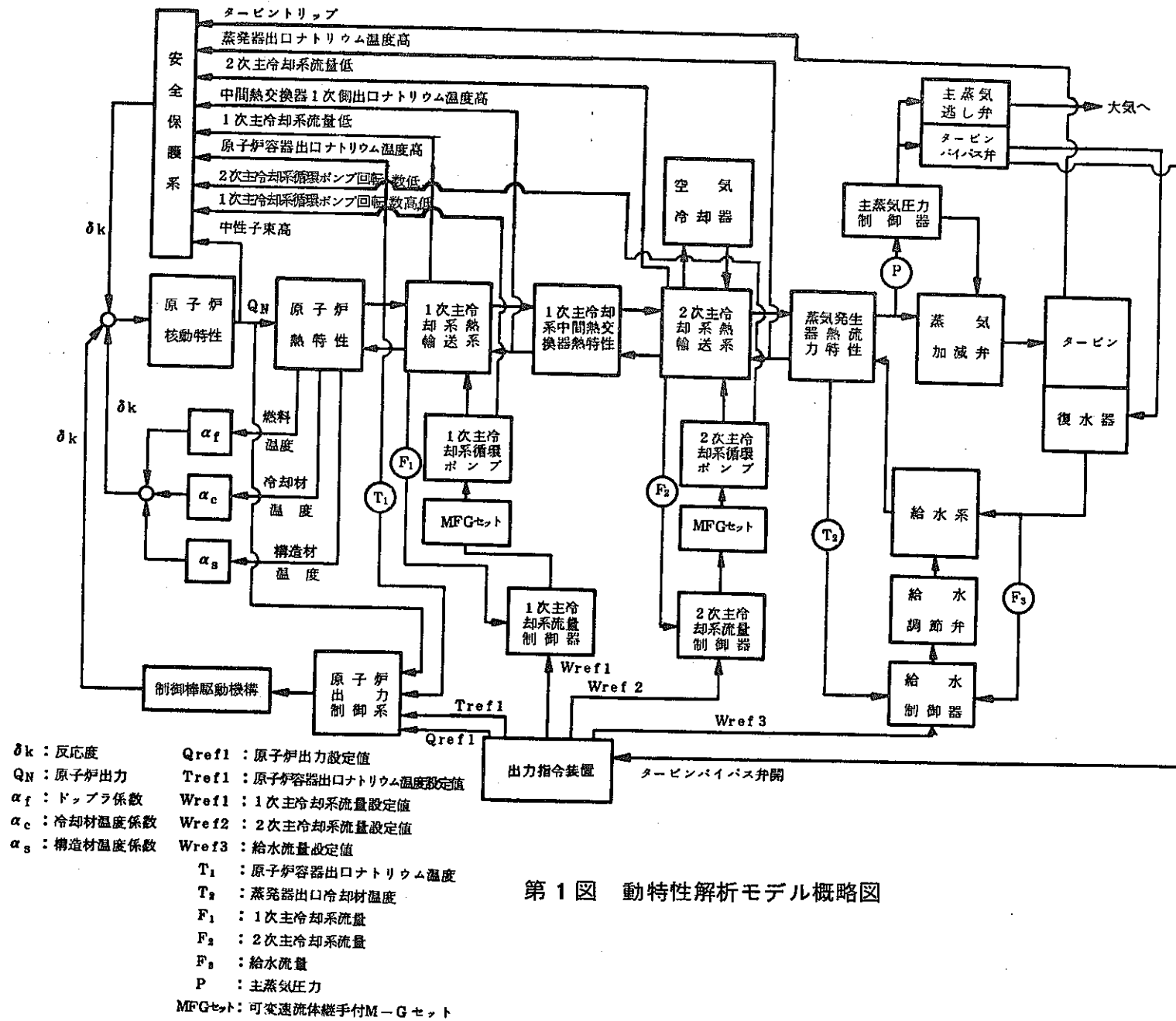
本サブコードは、プラント制御系、安全保護系及びプラントインターロック等の模擬及び1次主冷却系、2次主冷却系、水/蒸気系の伝熱流動の模擬を含んだ、1ループ動特性解析コードである。

このコードは、制御系設計解析及びCOPD-3Aの入力流量を求める解析に用いられる。

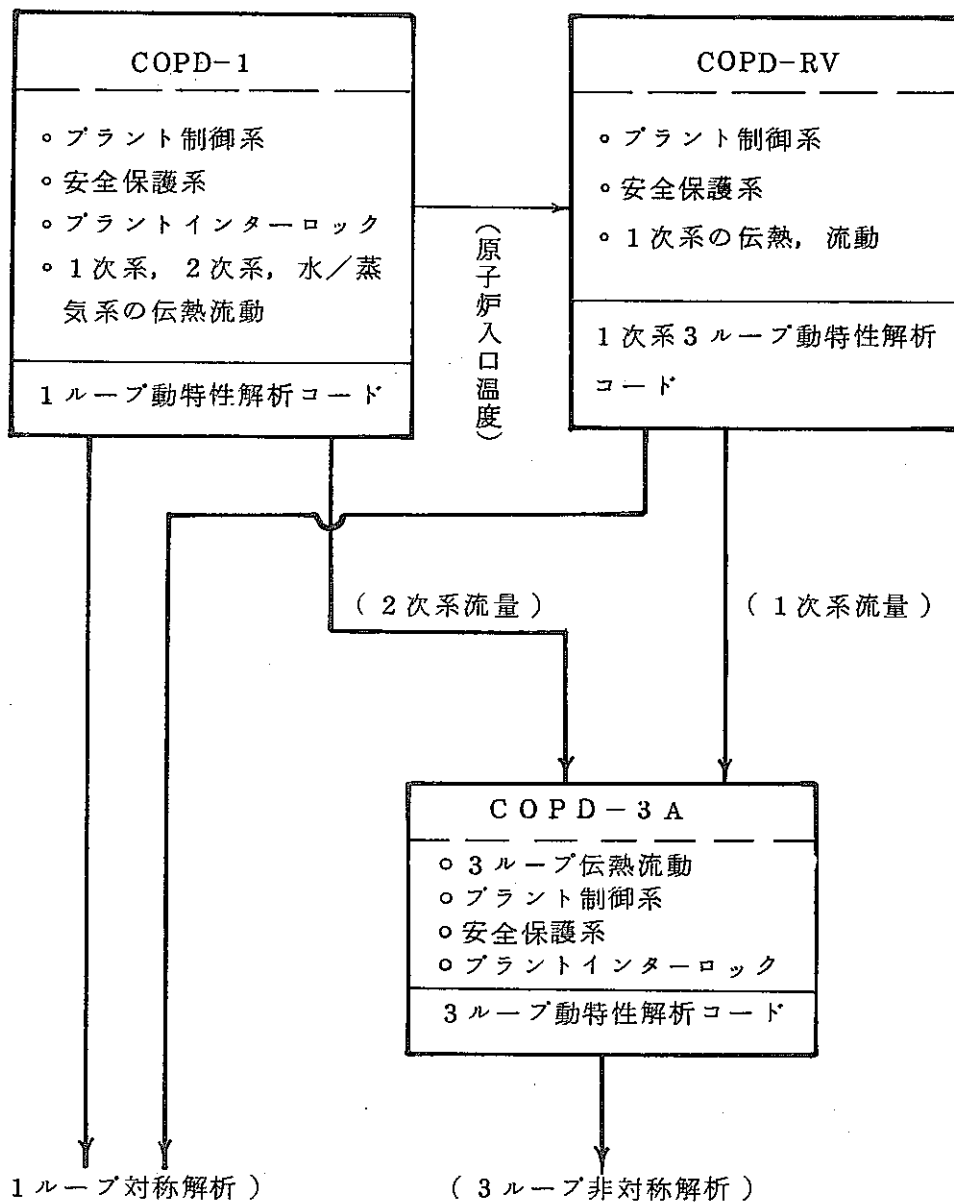
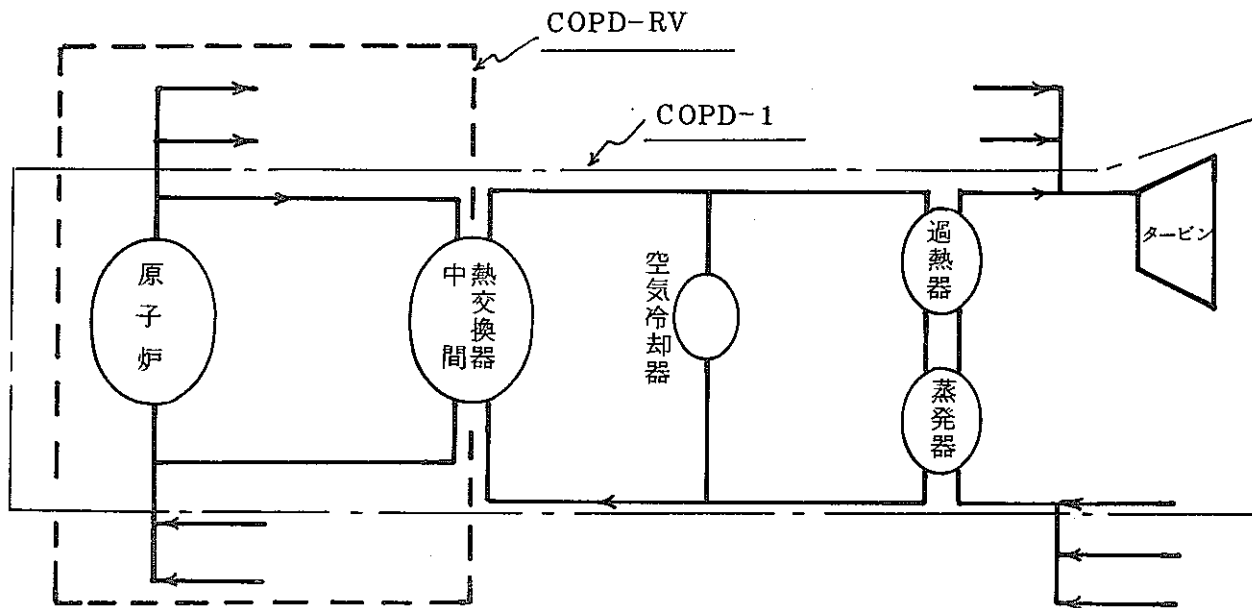
(3) COPD-RV

本サブコードは、原子炉入口温度を入力して、1次主冷却系の伝熱流動を扱う1次主冷却系の3ループ動特性解析コードである。

このコードは、制御系設計解析及び、COPD-3Aの入力流量を求める解析に用いられる。



第1図 動特性解析モデル概略図



第2図 COPDコード体系

2. 計算モデル

2.1 原子炉部の核熱モデル

1) 中性子密度変化

空間不依存の1点近似動特性方程式を用いている。遅発中性子発生割合は6組を考慮する。

$$\frac{d}{dt} n(t) = \frac{\rho(t) - \beta}{\ell} n(t) + \sum_{m=1}^D \lambda_m C_m(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{d}{dt} C_m(t) = -\lambda_m C_m(t) + \frac{\beta_m}{\ell} n(t) \dots\dots\dots (2)$$

原子炉反応度 ρ は、制御棒の位置変化、燃料のドップラによる効果、ナトリウムの温度変化、燃料及び被ふく管、ラッパ管、炉心支持板膨張の効果が含まれる。

$$\rho = \rho_{rod} + \rho_{dop} + \rho_{Na} + \rho_f + \rho_s \dots\dots\dots (3)$$

出力密度の分布は、径方向に一様発熱、軸方向に Chopped Cosine 発熱として扱っている。

各内部フィードバック効果は次の式で与えられる。

i) ドップラー効果分

$$\rho_{dop} = \alpha_{dop} \ell_n \left(\frac{T_f(t) + 273}{T_f(o) + 273} \right) \dots\dots\dots (4)$$

ii) ナトリウム温度係数分

$$\rho_{Na} = \alpha_{Na} \{ T_h(t) - T_h(o) \} \dots\dots\dots (5)$$

iii) 燃料膨張係数分

$$\rho_f = \alpha_f \{ T_f(t) - T_f(o) \} \dots\dots\dots (6)$$

IV) 構造材膨張係数分

$$\rho_s = \alpha_s \{ T_s(t) - T_s(o) \} \dots\dots\dots (7)$$

V) 制御棒反応度値

$$\rho_{rod} = \sum_j \alpha_{rod_j} \{ X_j(t) - X_j(o) \} \dots\dots\dots (8)$$

2) 崩壊熱曲線

核分裂生成物の崩壊熱と超ウラン元素による発熱を入力データの形で与える。

3) 燃料の熱系モデル

燃料は第3図に示すように軸方向に下部ブランケット，炉心，上部ブランケット各々を2領域に分割し，燃料は軸方向6領域で扱う。径方向には燃料，被ふく管，冷却材，ラップ管について各々1領域で扱い，各領域でエネルギー保存式を解く。

燃料部は第4図に示すように，代表1チャンネルで扱い，冷却材流量は炉心相当流量と炉心バイパス相当流量とに分けて扱う。炉心バイパス相当流量は，炉内のヒートバランスを合わせるようにインプットで与える。

燃 料

$$V_f r_f C_f \frac{\partial}{\partial t} T_f(r, z, t) = q(r, z, t) - K_f \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} T_f(r, z, t) \dots\dots\dots (9)$$

被ふく管

$$V_c r_c C_c \frac{\partial}{\partial t} T_c(z, t) = U_c S_c \{ T_f(r, z, t) - T_c(z, t) \} - U_h S_h \{ T_c(z, t) - T_h(z, t) \} \dots\dots\dots (10)$$

冷却材

$$V_h r_h C_h \frac{\partial}{\partial t} T_h(z, t) = U_h S_h \{ T_c(z, t) - T_h(z, t) \} - U_s S_s \{ T_h(z, t) - T_s(z, t) \} - C_h G_h(t) \frac{\partial}{\partial z} T_h(z, t) \dots\dots\dots (11)$$

構造材

$$V_s \rho_s C_s \frac{\partial}{\partial t} T_s(z, t) = U_s S_s (T_h(z, t) - T_s(z, t)) \quad \dots\dots\dots (12)$$

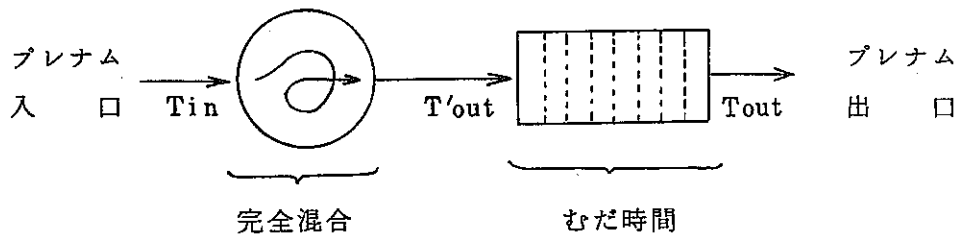
被ふく管と冷却材との熱伝達式は，次の修正 Lyon の式を用いている。

$$U_h = \frac{\lambda_c}{d_c} \{ 7.0 + 0.025 \cdot (0.5 \cdot Pe)^{0.8} \} \quad \dots\dots\dots (13)$$

4) 原子炉内プレナムモデル

第 5 図 に示す完全混合とむだ時間で扱い，各々の有効体積をインプットで与える。

完全混合及びむだ時間は次に示すエネルギー保存式で与えられる。



完全混合

$$\frac{V_\tau}{Q} \frac{dT'_{out}(t)}{dt} = T_{in}(t) - T'_{out}(t) \quad \dots\dots\dots (14)$$

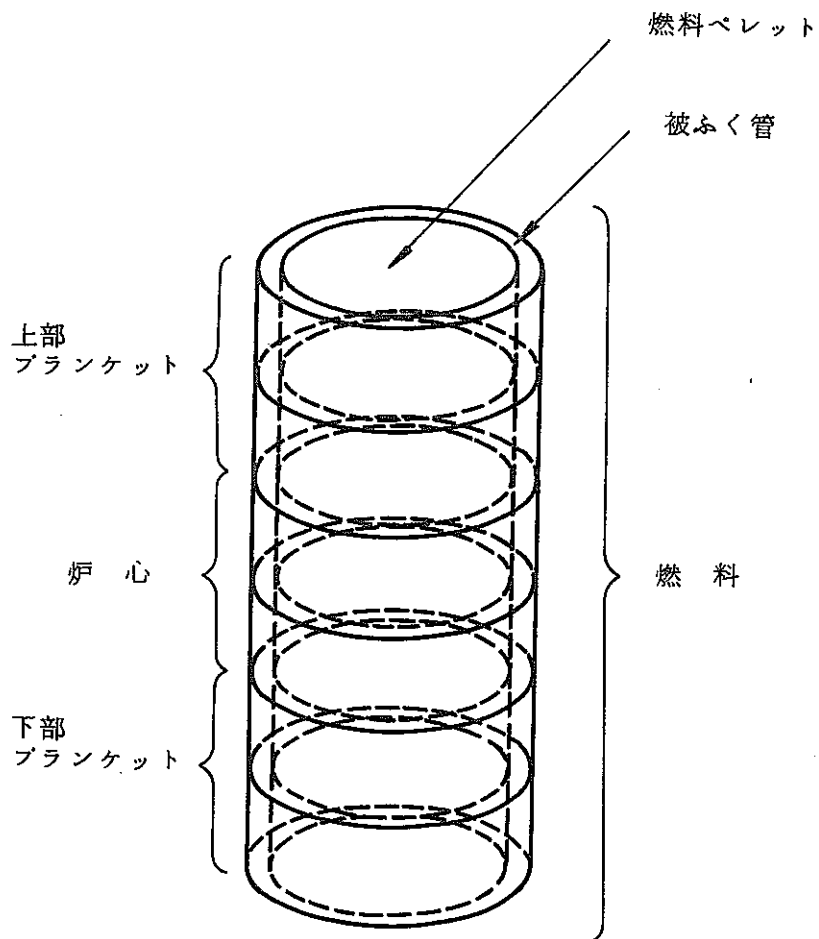
- { Q : 冷却材体積流量
- { V_τ : 有効体積 (インプット)

むだ時間

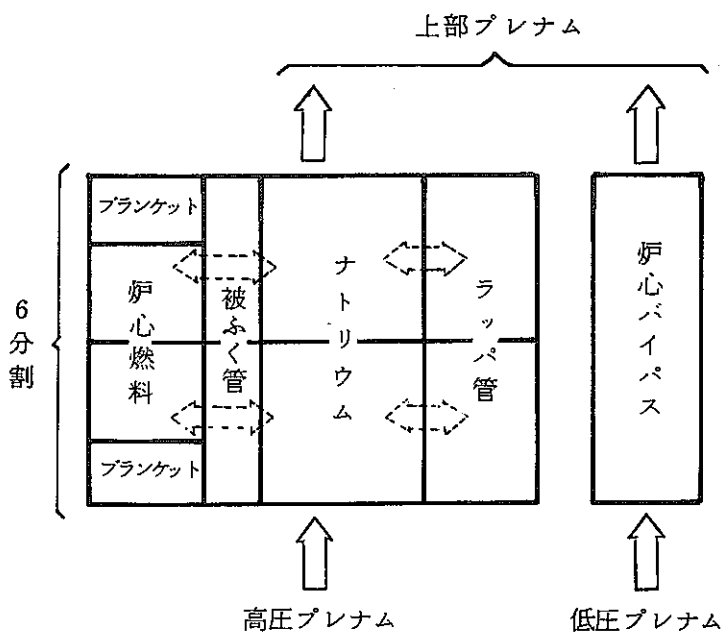
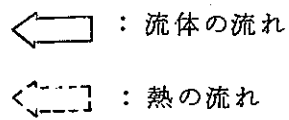
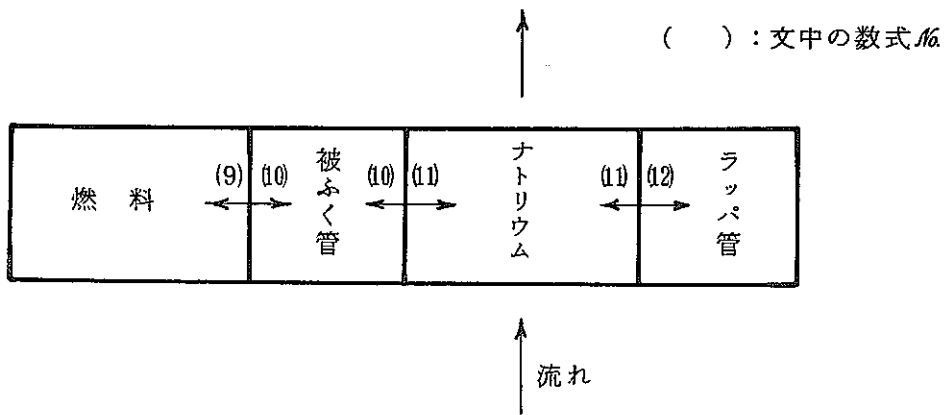
$$T_{out}(t) = T'_{out}(t - L) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$L = V_L / Q$$

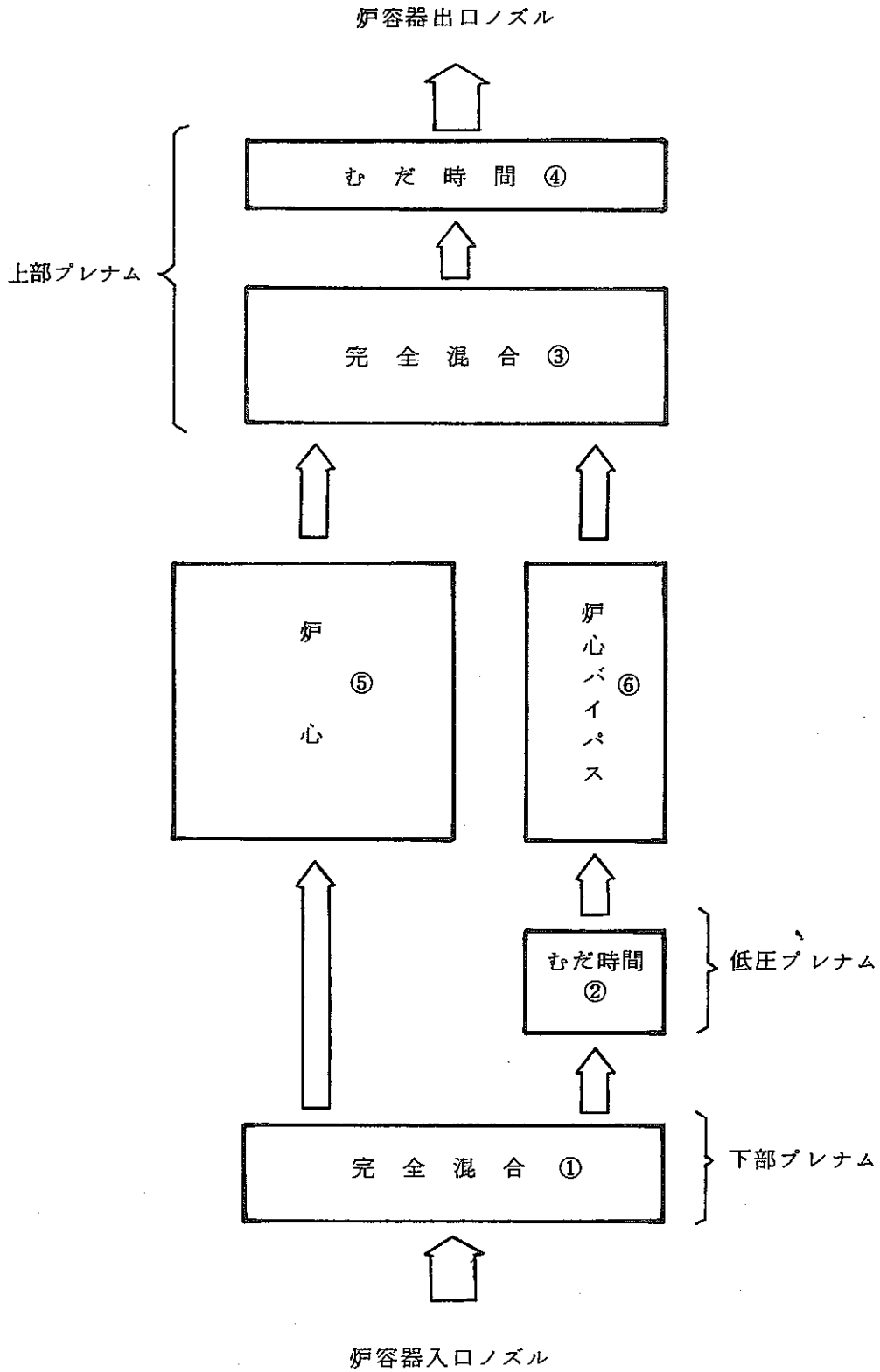
- { L : むだ時間
- { Q : 冷却材体積流量
- { V_L : 有効体積 (インプット)



第3図 燃料モデル



第 4 図 原子炉内熱モデル



第 5 図 原子炉内上・下部プレナムモデル

2.2 中間熱交換器の熱伝達モデル

第6図に示すような無液面向流型熱交換器であり，径方向には1次側冷却材，構造材，伝熱管及び2次側冷却材を1領域で扱い，軸方向には20領域に分割して扱っている。各領域では，次のエネルギー保存式を解いている。

1次冷却材

$$V_p r_p C_p \frac{\partial}{\partial t} T_p(z, t) = -C_p G_p(t) \frac{\partial}{\partial z} T_p(z, t) - U_p S_p \{ T_p(z, t) - T_t(z, t) \} - U_q S_q \{ T_p(z, t) - T_q(z, t) \} \quad (16)$$

構造材

$$V_q r_q C_q \frac{\partial}{\partial t} T_q(z, t) = U_q S_q \{ T_p(z, t) - T_q(z, t) \} \quad (17)$$

伝熱管

$$V_t r_t C_t \frac{\partial}{\partial t} T_t(z, t) = U_p S_p \{ T_p(z, t) - T_t(z, t) \} - U_s S_s \{ T_t(z, t) - T_s(z, t) \} \quad (18)$$

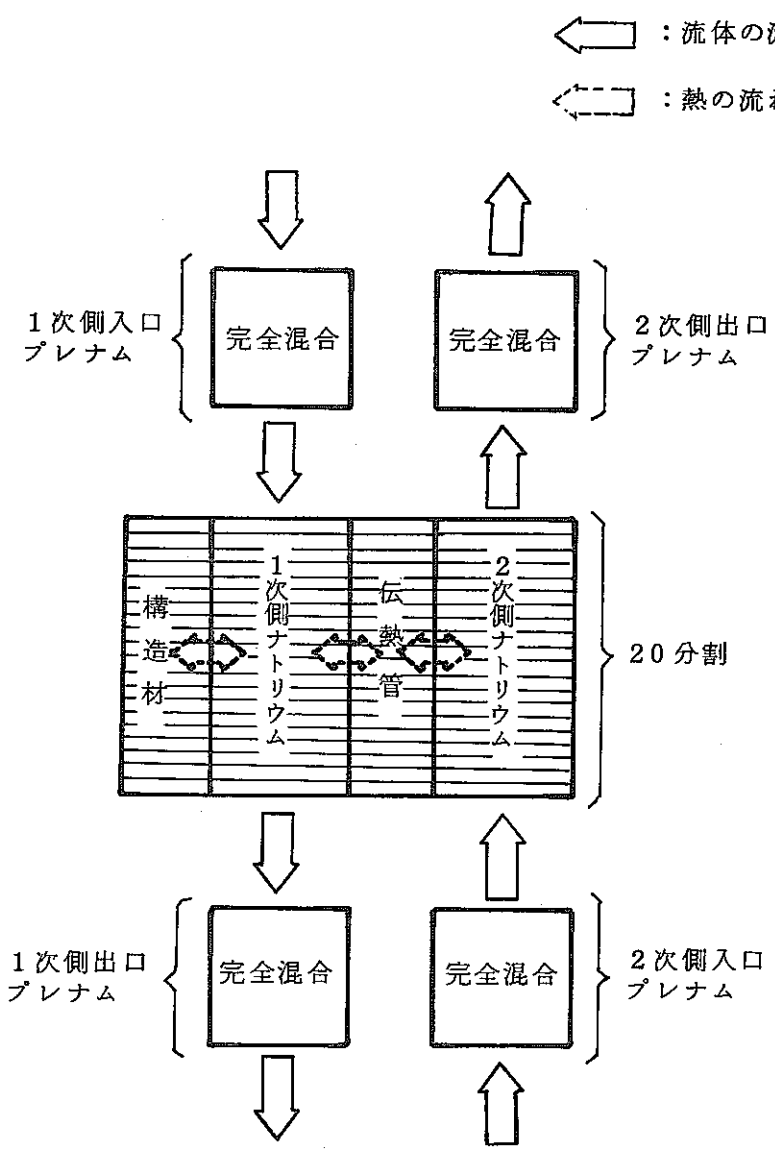
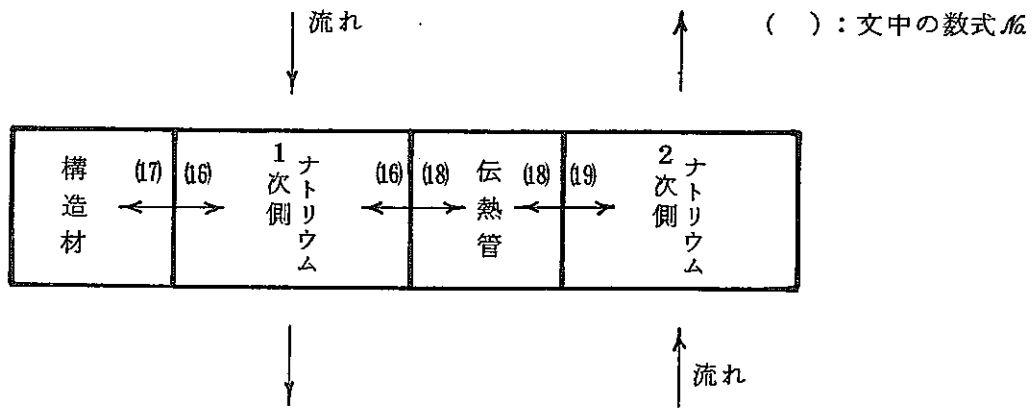
2次冷却材

$$V_s r_s C_s \frac{\partial}{\partial t} T_s(z, t) = U_s S_s \{ T_t(z, t) - T_s(z, t) \} - C_s G_s(t) \frac{\partial}{\partial z} T_s(z, t) \quad (19)$$

伝熱管と1次及び2次冷却材との熱伝達式は，次のLubarsky-Kaufmanの式を用いている。

$$U_s = \frac{\lambda_s}{d_s} (0.625 \cdot P_e^{0.4}) \quad (20)$$

出入口プレナムは完全混合で扱っている。



第6図 中間熱交換器モデル

2.3 1次主冷却系の循環モデル

1) 一巡運動モデル

1次冷却系は第7図に示す機器をモデル化して、一巡の運動量保存式と質量保存式を連立させて扱う。

一巡運動量保存

$$\frac{d}{dt} G_i(t) + a g \frac{\partial P(t, z)}{\partial z} + f_{ri} G_i(t) |G_i(t)|^{n-1} + a r g = 0 \quad \dots\dots (21)$$

質量保存

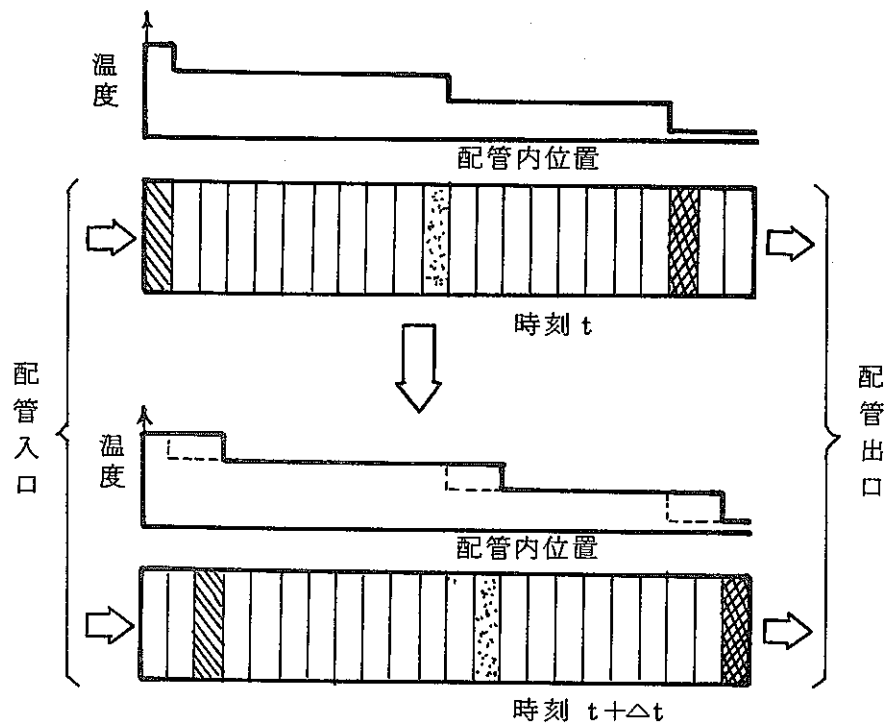
$$r \frac{d}{dt} M(t) = \sum_i G_i(t) \quad \dots\dots\dots (22)$$

1次主冷却系循環ポンプは回転体の角運動量保存式と、テーブルインプットで与えられるポンプのQ-H特性を連立させて扱っている。

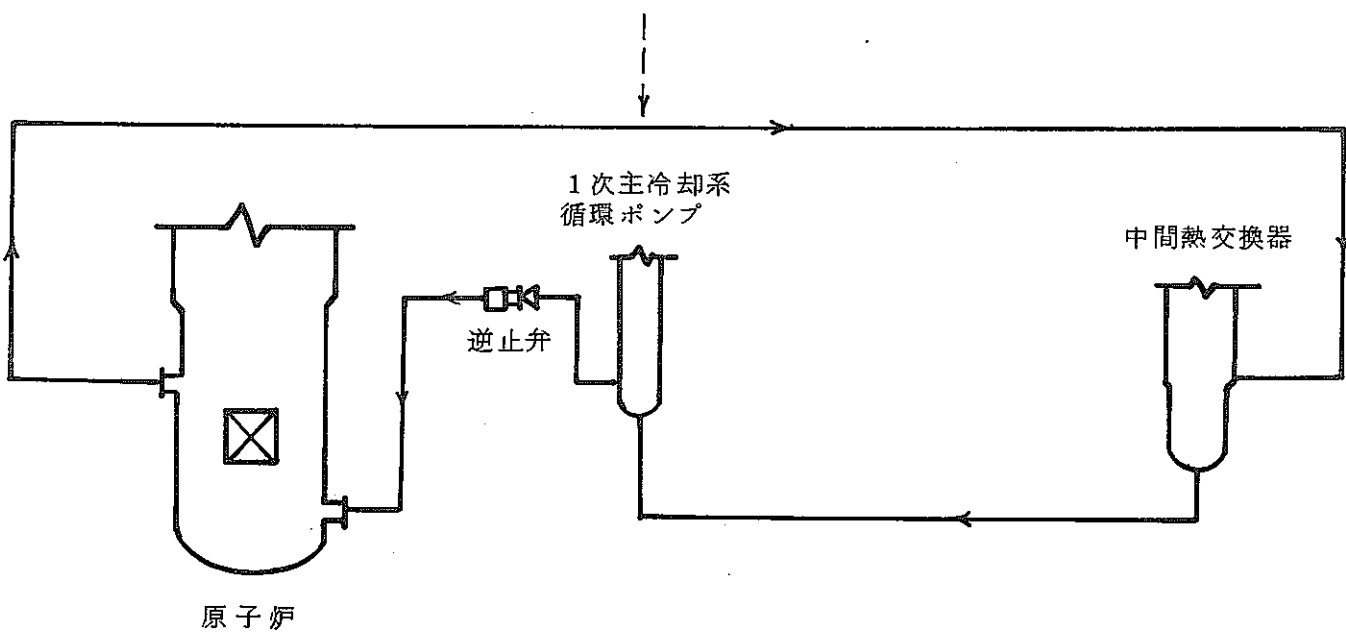
$$\frac{J}{4g} \frac{dN}{dt} = T_M - T_L \quad \dots\dots\dots (23)$$

2) 配管内の熱輸送モデル

第7図に示す、ピストン流モデルで扱っており、配管の熱容量は考慮していない。



(配管輸送遅れモデル)



第7図 1次系循環モデル・配管輸送遅れモデル

2.4 補助冷却系モデル

第8図に示すように空気冷却器を径方向にはナトリウム、構造材、伝熱管及び空気を1領域で扱い、軸方向には7領域に分割して扱っている。

各領域では、次のエネルギー保存式を解いている。

ナトリウム

$$V_s r_s C_s \frac{\partial}{\partial t} T_s(z, t) = -C_s G_s(t) \frac{\partial}{\partial z} T_s(z, t) - U_s S_s \{ T_s(z, t) - T_t(z, t) \} - U_q S_q \{ T_s(z, t) - T_q(z, t) \} \dots\dots\dots (24)$$

構造材

$$V_q r_q C_q \frac{\partial}{\partial t} T_q(z, t) = U_q S_q \{ T_s(z, t) - T_q(z, t) \} \dots\dots\dots (25)$$

伝熱管

$$V_t r_t C_t \frac{\partial}{\partial t} T_t(z, t) = U_s S_s \{ T_s(z, t) - T_t(z, t) \} - U_a S_a \{ T_t(z, t) - T_a(z, t) \} \dots\dots\dots (26)$$

空 気

$$-C_a G_a(t) \frac{\partial}{\partial z} T_a(z, t) + U_a S_a \{ T_t(z, t) - T_a(z, t) \} = 0 \dots\dots\dots (27)$$

伝熱管と2次冷却材との熱伝達式は、次の Subbotin の式を用いている。

$$U = \frac{\lambda}{d} (5.0 + 0.025 \cdot P_e^{0.8}) \dots\dots\dots (28)$$

空気と伝熱管との熱伝達式は、次の Jameson の式に、フィン効率を考慮して用いている。

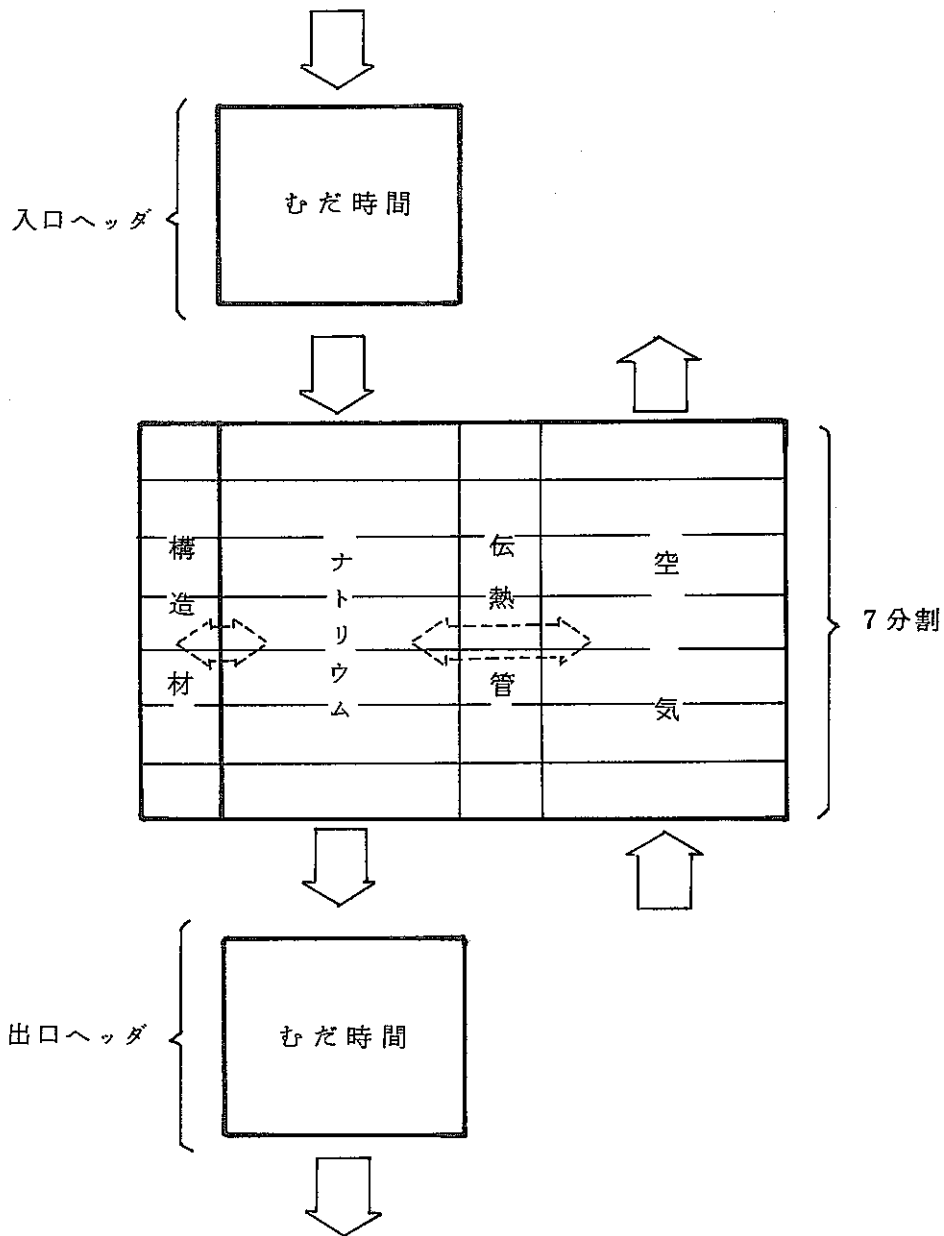
$$N_u = 0.092 \cdot Re^{0.723} Pr^{1/3} \dots\dots\dots (29)$$

$$U = N_u \frac{\lambda_{air}}{D_e} \phi$$

(ϕ : フィン効率より求まる係数)

← : 流体の流れ

← : 熱の流れ



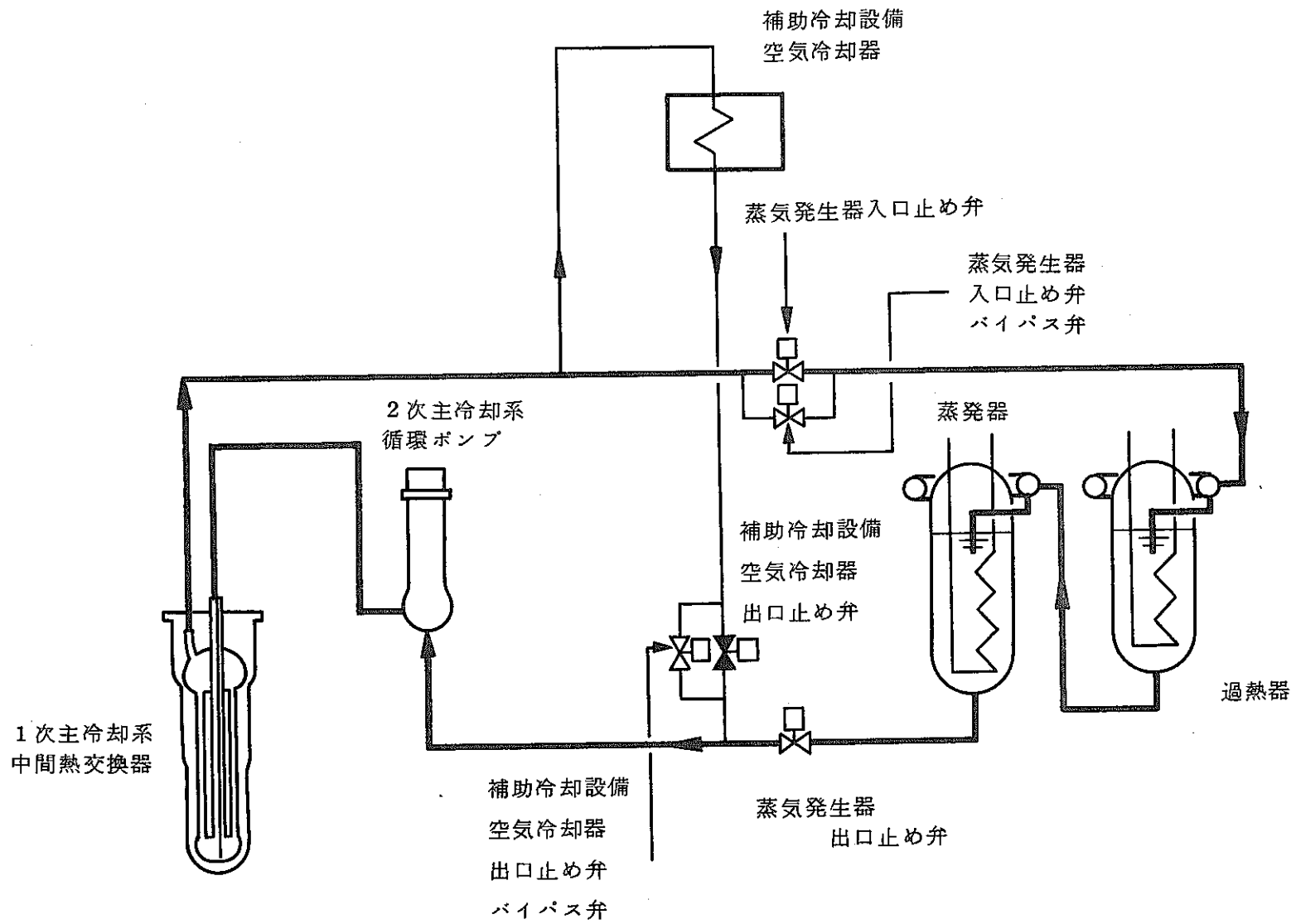
第8図 空気冷却器モデル

2.5 2次主冷却系の循環モデル

第 9 図に示す機器をモデル化して、2次主循環系と補助冷却系を流れる冷却材ナトリウムの運動量保存式と質量保存式を連立させて扱っている。

蒸気発生器は液面を有しているため、蒸気発生器とポンプオーバーフローコラムの液面を考慮している。

また、2次主冷却系循環ポンプの扱いは1次系と同様である。



第 9 図 2 次系循環モデル

2.6 蒸気発生器システムの水/蒸気系

水/蒸気の物性値は温度及び圧力に強く依存しており，2相流領域では圧縮性の影響も大きいため，蒸気発生器内ではエネルギー保存式，運動量保存式，質量保存式を連立させて解いている。

第 10 図に，水/蒸気系の熱輸送モデルを示す。

1) 蒸気器のモデル

第 11 図に示すナトリウム加熱型蒸気器では，軸方向のヒートフラックス分布が一様でないため，軸方向に 30 分割している。径方向には，他の熱交換器と同様第 11 図に示すように，2 次ナトリウム，構造材，伝熱管，水/蒸気をそれぞれ 1 領域で扱っている。

熱交換部では，次の 6 式を各領域毎に連立させている。

ナトリウムのエネルギー保存

$$a_s \gamma_s C_s \frac{\partial}{\partial t} T_s(z, t) = -C_s G_s(t) \frac{\partial}{\partial z} T_s(z, t) - U_s S_s \{ T_s(z, t) - T_t(z, t) \} - U_v S_v \{ T_s(z, t) - T_v(z, t) \} \quad \dots\dots\dots (30)$$

構造材のエネルギー保存

$$a_v \gamma_v C_v \frac{\partial}{\partial t} T_v(z, t) = U_v S_v \{ T_s(z, t) - T_v(z, t) \} \quad \dots\dots\dots (31)$$

伝熱管のエネルギー保存

$$a_t \gamma_t C_t \frac{\partial}{\partial t} T_t(z, t) = U_s S_s \{ T_s(z, t) - T_t(z, t) \} - U_d(z, t) S_d \{ T_t(z, t) - T_d(z, t) \} \quad \dots\dots\dots (32)$$

水/蒸気のエネルギー保存

$$a_d \gamma_d(z, t) \frac{\partial}{\partial t} H_d(z, t) = U_d(z, t) S_d \{ T_t(z, t) - T_d(z, t) \} - G_d(z, t) \frac{\partial}{\partial z} H_d(z, t) \quad \dots\dots\dots (33)$$

水/蒸気の質量保存

$$a_d \frac{\partial}{\partial t} r_d(z, t) + \frac{\partial}{\partial z} G_d(z, t) = 0 \quad \dots\dots\dots (34)$$

水/蒸気の運動量保存

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} G_d(z, t) + \frac{\partial}{\partial z} \frac{|G_d(z, t)| G_d(z, t)}{a_d r_d(z, t)} + a_{dg} \frac{\partial}{\partial z} P_d(z, t) \\ + \frac{f_r |G_d(z, t)| G_d(z, t)}{2 a_d r_d(z, t) D_d} = 0 \quad \dots\dots\dots (35) \end{aligned}$$

熱伝達式は、一般の火力ボイラ等で用いられている式とは異なり、ヘリカルコイル型伝熱管を有するナトリウム加熱型蒸気発生器に適した次の式を用いている。次式の妥当性については、50 MW蒸気発生器試験により確かめられている。

① ナトリウム側の管外面に以下のHoeの式を用いている。

$$U_{Na} = \frac{\lambda_{Na}}{d_e} (4.03 + 0.228 Pe^{0.667}) \quad \dots\dots\dots (36)$$

水/蒸気側において、以下の熱伝達式を用いている。

② 予熱領域及び核沸騰領域の一部(森-中山の式)

$$\begin{aligned} U_\ell = \frac{\lambda_\ell}{d_f} \left[\frac{1}{41} \frac{Pr}{Pr^{0.6} - 0.062} Re^{5/6} \left(\frac{d_i}{D_{coil}} \right)^{1/12} \right. \\ \left. \left(1 + \frac{0.061}{\left(Re \left(\frac{d_i}{D_{coil}} \right)^{2.5} \right)^{1/6}} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (37) \end{aligned}$$

③ 核沸騰領域(修正Shrock-Grossmanの式)

$$U_{NB} = 2.5 \left(\frac{1}{X_{tt}} \right)^{0.75} U_{\ell x} \quad \dots\dots\dots (38)$$

但し、 $U_{\ell x}$ は(37)式に於て U_ℓ を核沸騰領域まで外挿した値である。

$$\frac{1}{X_{tt}} = \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.9} \left(\frac{\gamma_\ell}{\gamma_g} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_g}{\mu_e} \right)^{0.1}; x' < x \leq x_{DNB} \quad \dots\dots\dots (38')$$

⊖ 膜沸騰領域

$$U_{si} = \frac{1-x}{1-x_{DNB}} U_{DNB} + \frac{x-x_{DNB}}{1-x_{DNB}} U_{sH} \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$; x_{DNB} < x \leq 1$$

但し， U_{DNB} は(38)，(38')式において $x = x_{DNB}$ としたときの値とし， U_{sH} は，次の(40)式において過熱領域入口の値とする。

なお，(39)式は U_{DNB} と U_{sH} の間をDNB点でのクオリティ x_{DNB} と過熱が開始される点でのクオリティを使い補間したものである。

⊕ 過熱領域(森・中山(気相)の式)

$$U_{sH} = \frac{\lambda_g}{d_i} \cdot \frac{1}{262} \cdot \frac{Pr}{Pr^{2/3} - 0.074} Re^{4/5} \left(\frac{d_i}{D_{coil}} \right)^{1/10} \left[1 + \frac{0.098}{\left\{ Re \left(\frac{d_i}{D_{coil}} \right)^2 \right\}^{1/5}} \right] \quad \dots\dots\dots (40)$$

各熱伝達式の使用する領域を第 11 図に示す。

なお，水/蒸気管内面の熱伝達係数には，以上の式に“よごれ係数”を加えたものを用いている。

水/蒸気側の摩擦損失係数 f_r は次のように扱っている。

单相流摩擦損失係数はMoody線図から算出される定数であり，二相流摩擦損失係数にはMartinelli-Nelson係数を用いている。

他の物性値は，蒸気表(日本機械学会)より算出している。

2) 気水分離器のモデル

気水分離器は，質量保存式，エネルギー保存式，体積保存式を連立させた集中定数系で扱っている。

分離効率はインプットで与える。

3) 過熱器のモデル

蒸発器と類似の構造をしているが，蒸気が流入するため，ヒートフラックス分布は蒸

発器ほど大きく変化しない。そこで軸方向に15分割して扱っている。

他は全て蒸発器と同一に扱っている。

4) 水/蒸気系の弁モデル

第10図に示す弁をモデル化している。

5) 給水ポンプのモデル

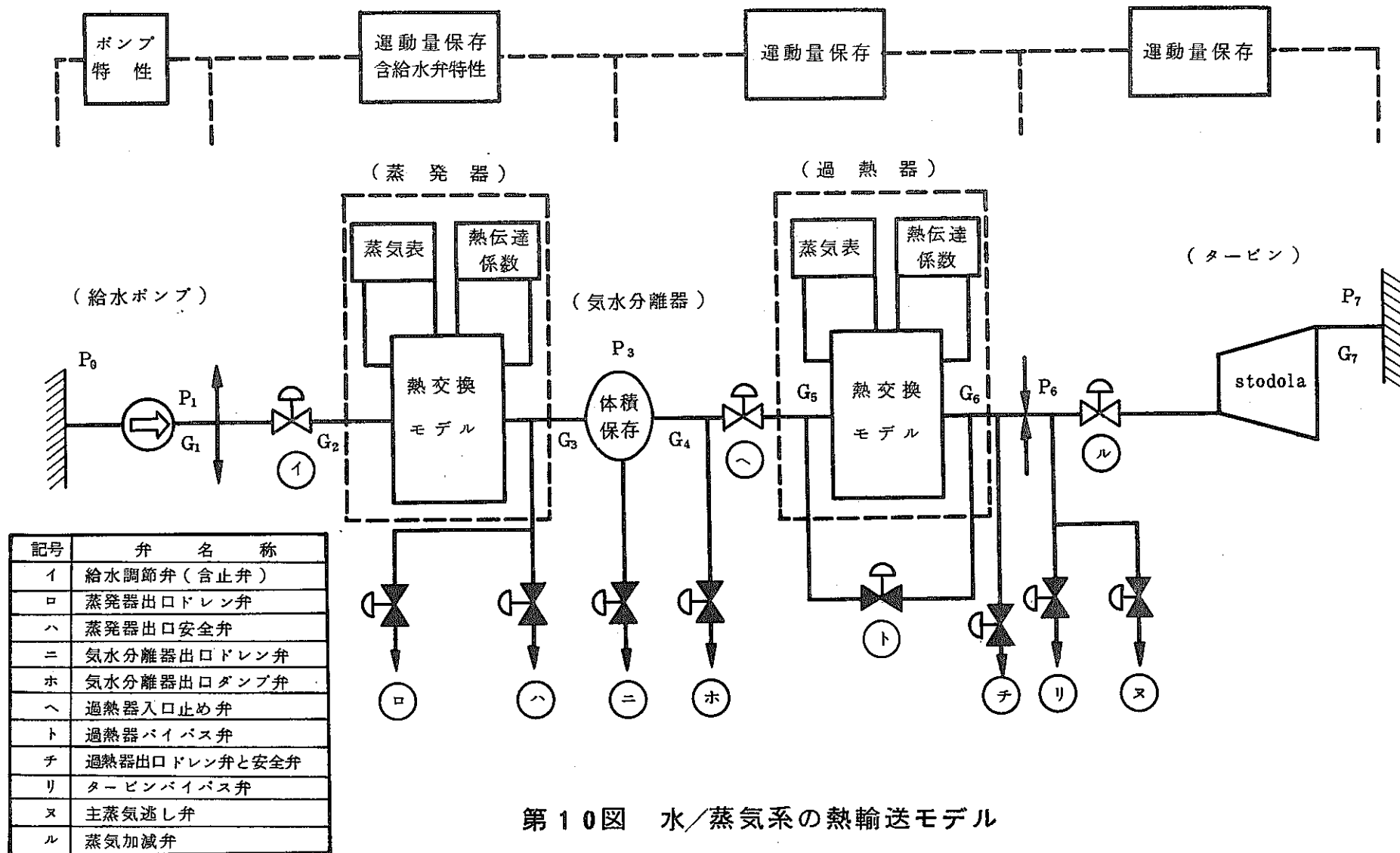
1次系ポンプと同様に、ポンプの角運動量保存式とQ-H特性で扱っている。

6) タービンのモデル

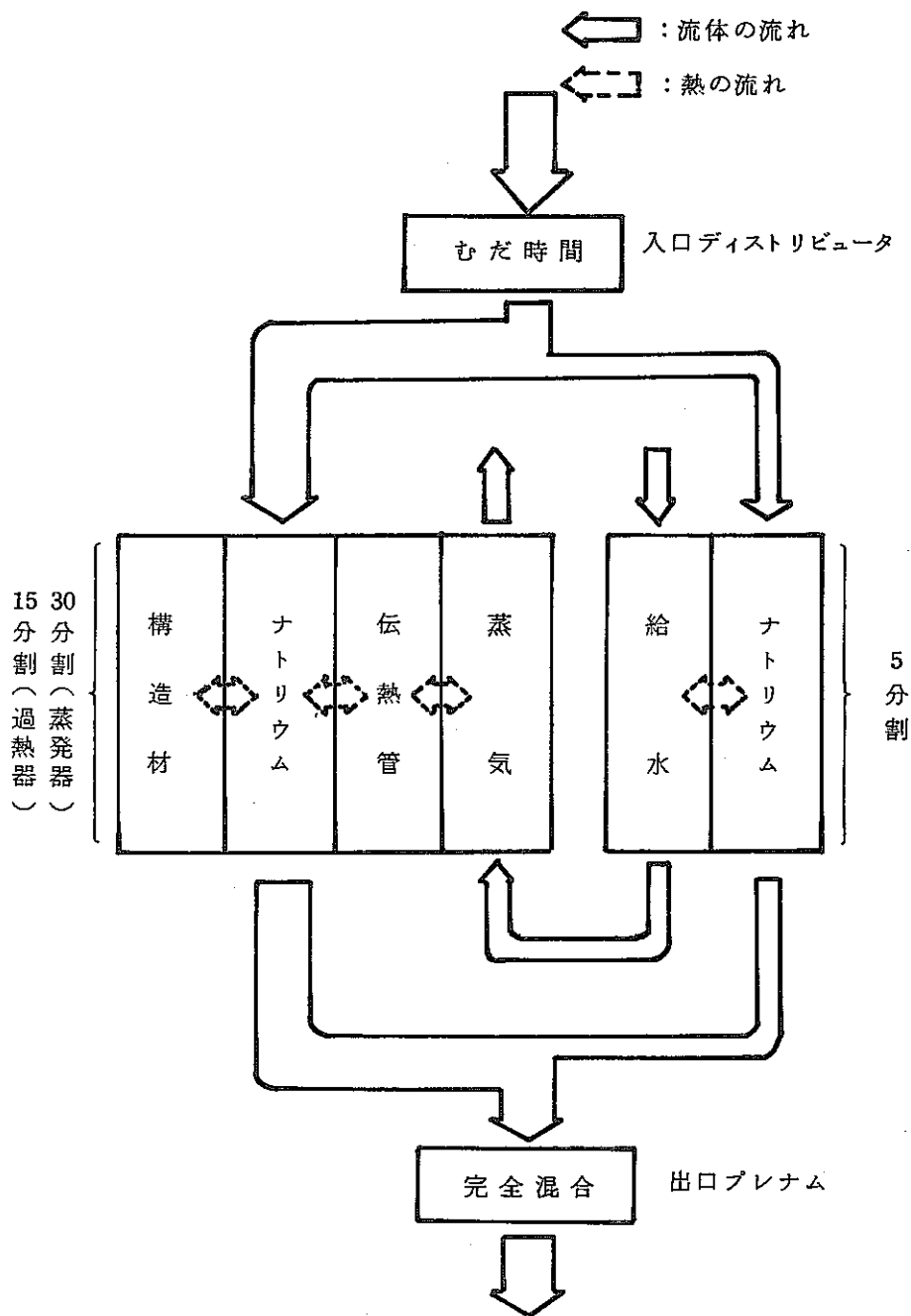
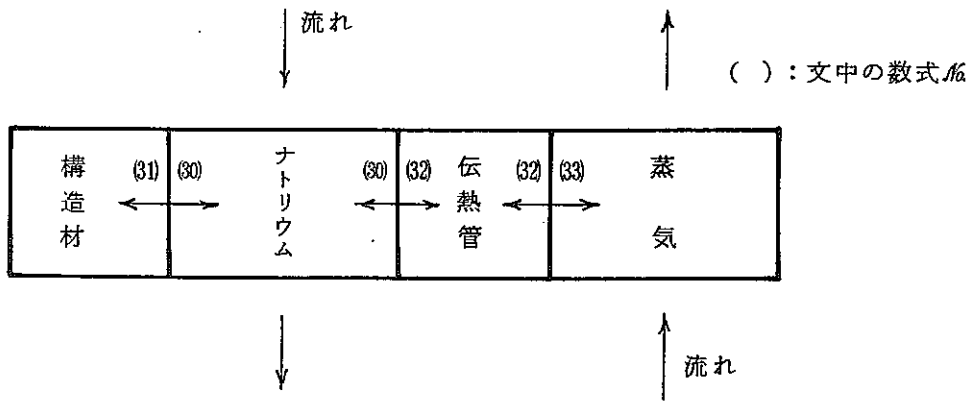
タービンの出入口圧力、温度、流量の関係を記述したStodolaの式で扱っている。

$$G_d = Y \cdot \frac{1}{\sqrt{T+273}} \cdot \sqrt{P_1^2 - P_2^2} \dots\dots\dots (41)$$

なお、基礎式で使用している各変数の意味を第1表に示す。

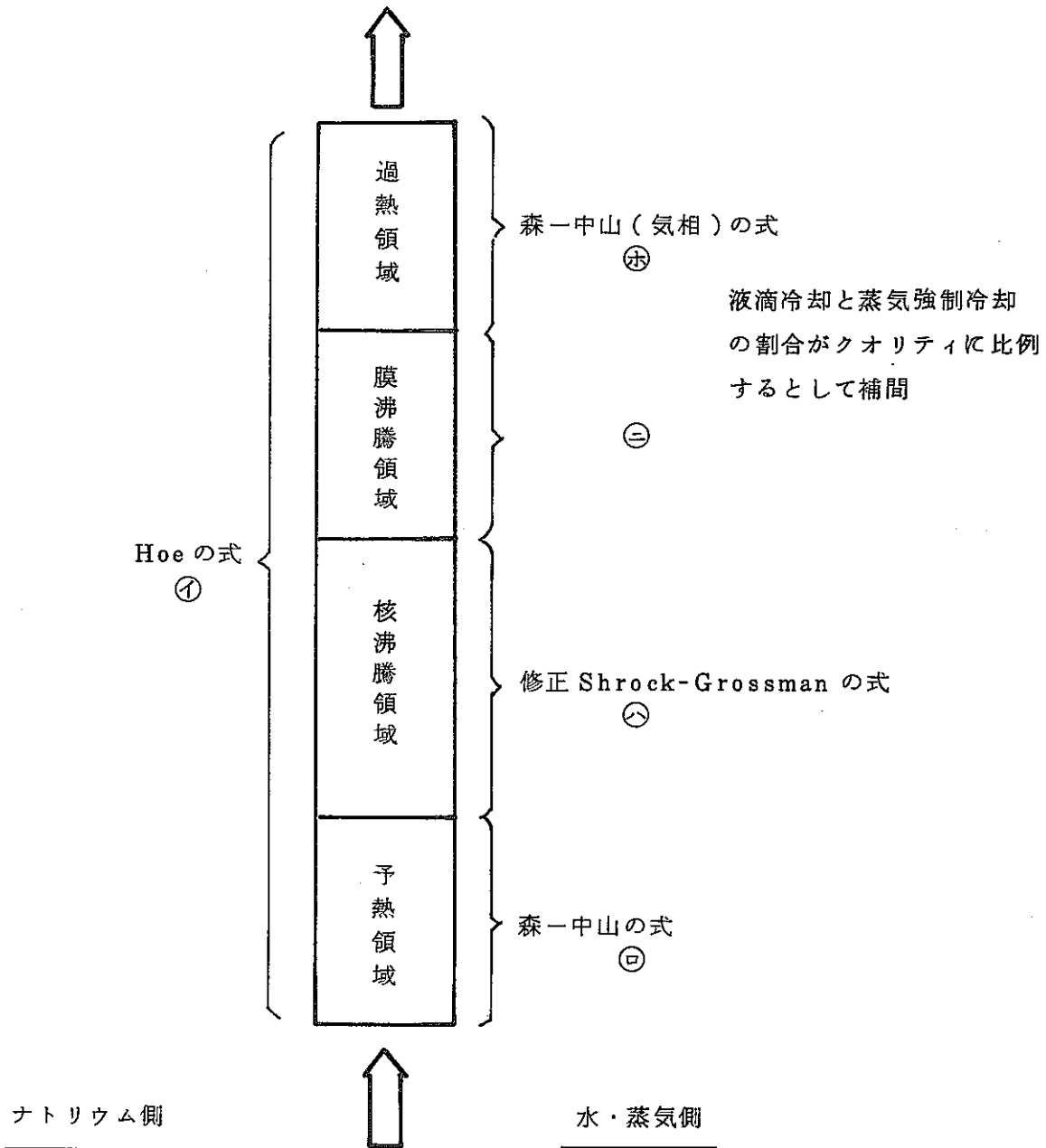


第10図 水/蒸気系の熱輸送モデル



第 11(1)図 蒸気発生器モデル(1)

← : 水/蒸気の流れ方向



第 11 (2) 図 蒸気発生器モデル (2)

第 1 (I) 表 数式中の変数の意味 (I)

$n(t)$; 中性子密度 ($1/m^3$)

$C_m(t)$; m 種先行核濃度

β_m ; m 種遅発中性子発生割合

$$\beta = \sum_{m=1}^D \beta_m, D=6$$

λ_m ; m 種先行核の崩壊定数 ($1/sec$)

ℓ ; 中性子生成時間 (sec)

ρ ; 反応度

ρ_{rod} ; 制御棒の反応度寄与分

ρ_{dop} ; ドップラー効果分

ρ_{Na} ; ナトリウム温度係数分

ρ_f ; 燃料膨張係数分

ρ_s ; 構造材膨張係数分 (被ふく管膨張, ラッパ管膨張, 炉心支持板膨張を含む)

α ; 各反応温度係数

T ; 炉心部の各平均温度

α_{rodj} ; j 番目制御棒の単位長さ当りの反応度価値

X ; 制御棒位置

C ; 比熱 ($Kcal/Kg \cdot ^\circ C$)

γ ; 密度 (Kg/m^3)

k ; 熱伝導度 ($Kcal/m \cdot sec \cdot ^\circ C$)

U ; 熱伝達率 ($Kcal/m^2 \cdot sec \cdot ^\circ C$)

S ; 単位長さ当りの伝熱面積 (m^2)

V ; 単位長さ当りの容積 (m^3)

G ; 重量流量 (Kg/sec)

t ; 時間 (sec)

r ; 半径方向座標 (m)

z ; 軸方向座標 (m)

R ; 燃料表面座標 (m)

第 1 (2) 表 数式中の変数の意味 (2)

T	;	温 度 (°C)
q	;	出力密度 (Kcal/m ² ·sec)
Gi(t)	;	重量流量 (Kg/sec)
a	;	流路断面積 (m ²)
p	;	圧 力 (Kg/m ²)
fr _i	;	圧力損失定数 (—)
n	;	圧力損失特性係数 (—)
g	;	重力加速度 (9.8 m/sec ²)
M	;	流路分岐点から液面までの体積 (m ³) (液面のない場合には零)
λ _c	;	流体熱伝導率 (Kcal/m·sec·°C)
d _c	;	流路の代表長さ (m)
Pe	;	ペクレ数
N	;	回転角速度 (rad/sec)
J	;	慣性能率 (Kg·m ²)
T _F	;	負荷トルク (Kg·m)
T _M	;	駆動トルク (Kg·m)
λ	;	流体熱伝導率 (Kcal/m·sec·°C)
Re	;	レイノズル数
γ	;	密 度 (Kg/m ³)
U _{ℓx}	;	U ₁ の沸騰領域における値
D _{coil}	;	平均コイル径 (m)
Pr	;	プラントル数
μ	;	粘性係数 (Kg·sec/m ²)
d _i	;	管内径 (m)
d _o	;	管外径 (m)
x'	;	U _{DNB} / U ₁ = 1 でのクオリティ
x _{DNB}	;	DNB点でのクオリティ
H	;	エンタルピ (Kcal/Kg)

添字、 l ; 液相, g ; 気相, f ; 燃料, c ; 被ふく管, h ; 冷却材, s ; 構造材
p ; 1次系ナトリウム, q ; 構造材, t ; 伝熱管, s ; 2次系ナトリウム
s ; ナトリウム流体, t ; 伝熱管, v ; 構造材, d ; 給水 / 蒸気流体

3. 検証結果

COPDコードにシステムの設計データを入力した際の解析結果と試験結果を比較し、解析モデルの妥当性を検証した。

検証した各モデルと検証に使用した試験結果の代表例の対応を第2表に示す。

なお、冷却材の物性値、構造材物性値及び水蒸気の物性値を次のように扱っている。

- (1) 冷却材ナトリウム及び機器構造材物性値は、温度依存性が小さく一定値で扱っても、その影響が小さいことから、定格出力時の平均温度から求められる一定値で扱っている。
- (2) 水/蒸気系の物性値は、相変化を伴うため温度と圧力に強く依存している。そこで、温度と圧力を用いて蒸気表（機械学会）から算出している。

3.1 検証結果

(1) 炉心核モデル（第13図）

第13図に示すように、計算値と実験値は良く一致している。

(2) 炉心熱モデル（第14図、第15図）

炉心出口温度計算値は、平均チャンネルの値であるが、実験値は、炉心中心チャンネルの値であり初期条件が異なる。そこで両者の比較を行うために温度変化巾で規格化した。

第14図に示すように、手動スクラム時には計算値は実験値に良く一致している。

第15図に示す電源喪失時でも、良く一致している。

(3) 原子炉プレナムモデル

(i) 上部プレナムモデル（第16図、第17図）

第16図及び第17図に示す様に、炉心出口温度変化に対する出口ノズル部温度変化は（完全混合）＋（むだ時間）のモデルで表現出来ることが判る。

(ii) 下部プレナムモデル（第18図）

もんじゅ体系の定常流動試験を用いて比較を行い、下部プレナム内の約100%の体積が完全混合するとした計算値と実験値は第18図に示す通りむだ時間を除いて良く一致している。

この下部プレナムのむだ時間の差は、もんじゅ1次系全体の遅れ時間と比較して小さいため、通常出力運転及び原子炉トリップ時の応答に与える影響は小さく、無視して扱える。

(4) 1次冷却材流動モデル（第15図）

常陽の電源喪失試験結果を用いて、ポンプの駆動源を零と入力した際の流量変化を比

較したが、流量のコーストダウン特性は良く一致している。

(5) 中間熱交換器熱モデル(第19図,第20図)

第19図,第20図に、冷却材温度外乱及び流量外乱を入力した場合の、中間熱交換器出口温度の過渡応答を示す。両結果共に良く一致している。

中間熱交換器の出入口プレナムは完全混合で扱っている。

(6) 2次冷却材流動モデル(第21図,第22図)

第21図,第22図に流量制御系目標値ステップ変更外乱時及び2次主循環ポンプトリップの2次主冷却材流量及び蒸気発生器の液位変化を示す。

流量制御系目標値外乱では、2次主冷却系流量の実験値と計算値は良く一致している。蒸気発生器の液位変化も実験値と計算値で良く一致しているが、ポンプトリップ時の計算値が多少振動的になっている。この相異は、蒸気発生器内及び配管部での低流量時の圧損評価に多少不確実性があるためと考えられるが、振動の発生する領域が低流量時に限られること及び、流量振動の振巾が初期流量の0.2%以下であることから、有意な差にはならないと考えられる。

(7) 蒸気発生器熱モデル(第23図,第24図)

第23図,第24図に2次冷却材流量外乱時の蒸気発生器の過渡応答を示す。蒸気発生器出口温度の過渡応答は良く一致している。

第24図で蒸気発生器出口蒸気温度に多少差が有るのは、初期の実験値と計算値のヒートバランスに差があるためである。

この際に、蒸気発生器のプレナムは次の扱いとしている。

① 入口プレナム : むだ時間

② 出口プレナム : 完全混合

(8) 水/蒸気系流動モデル(第25図)

蒸気発生器の場合、流動と伝熱をナトリウム系のように分離して考えることが出来ないため、熱計算を含めた比較を行った。

第25図によれば、給水流量及び蒸気、ナトリウム温度の計算値は実験値と良く一致しており、水/蒸気系の流動モデルは妥当であると考えられる。

(9) 空気冷却器熱モデル(第26図)

ナトリウム流量の外乱に対して空気冷却器出口ナトリウム温度は良く一致している。
空気出口温度の解析値が実験値よりも応答が速くなっている。

この相異は、実験の空気温度検出位置が伝熱部よりもかなりはなれた位置にあること
による。

しかし、ナトリウム温度が良く一致していることから空気冷却器の伝熱モデルは妥当
であると考えられる。

2. 検証結果説明図表

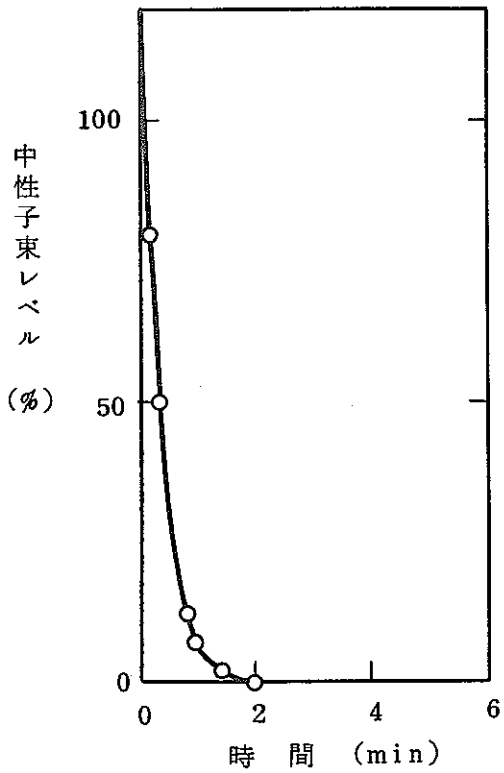
第 2 表	検証モデルと試験項目
第 1 3 図	核モデル比較(「常陽」調整棒一斉挿入)
第 1 4 図	炉心熱モデル比較(「常陽」手動トリップ)
第 1 5 図	炉心熱モデル, 1次系流動モデル比較(「常陽」電源喪失)
第 1 6 図	上部プレナムモデル比較(「常陽」電源喪失)
第 1 7 図	上部プレナムモデル比較(水流動試験)
第 1 8 図	下部プレナムモデル比較(水流動試験)
第 1 9 図	中間熱交換器熱モデル比較(50 MW, 温度外乱)
第 2 0 図	中間熱交換器熱モデル比較(50 MW, 流量外乱)
第 2 1 図	2次系流動モデル比較(50 MW, 流量外乱)
第 2 2 図	2次系流動モデル比較(50 MW, ポンプトリップ)
第 2 3 図	蒸気発生器の熱モデル比較(50 MW, 2次系流量外乱)
第 2 4 図	蒸気発生器の熱モデル比較(50 MW, 2次系流量外乱)
第 2 5 図	水/蒸気系流動モデル比較(50 MW, 制御系目標値外乱)
第 2 6 図	空気冷却器の熱モデル(50 MW, ナトリウム流量外乱)

第 2 表 検 証 モ デ ル と 試 験 項 目

検 証 モ デ ル		検 証 用 デ ー タ	
系 統	各モデル	種 類	試 験 項 目
原 子 炉	核モデル	常陽試験	調整棒一斉挿入
	炉心部 熱モデル	常陽試験	手動トリップ
			電源喪失
	プレナム部 モデル	常陽試験	電源喪失
		水流動試験	温度過渡応答, 濃度過渡応答
一 次 主冷却系	流動モデル	常陽試験	電源喪失
中 間 熱交換器	熱モデル	50MW試験	流量外乱
			温度外乱
二 次 主冷却系	流動モデル	50MW試験	2次主循環ポンプトリップ
			流量外乱
蒸気発生器	熱モデル	50MW試験	2次系流量外乱
			2次系流量外乱
水 / 蒸気系	流動モデル	50MW試験	蒸気器出口蒸気温度 制御系目標値 変更
空気冷却器	熱モデル	50MW試験	2次系流量外乱

——：計算値

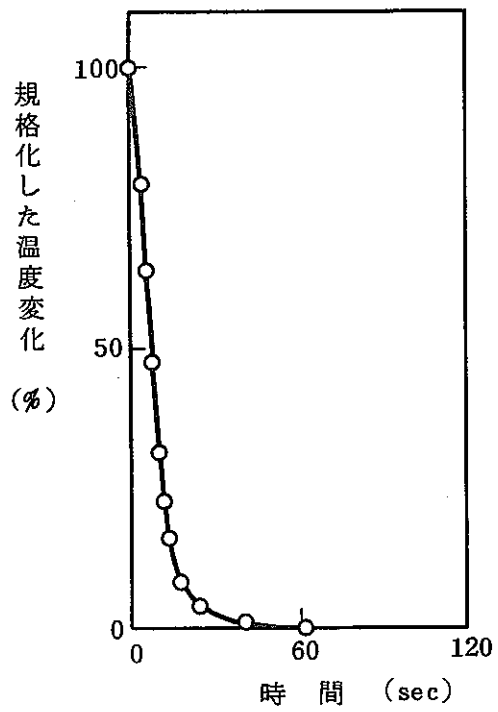
○○○：実験値



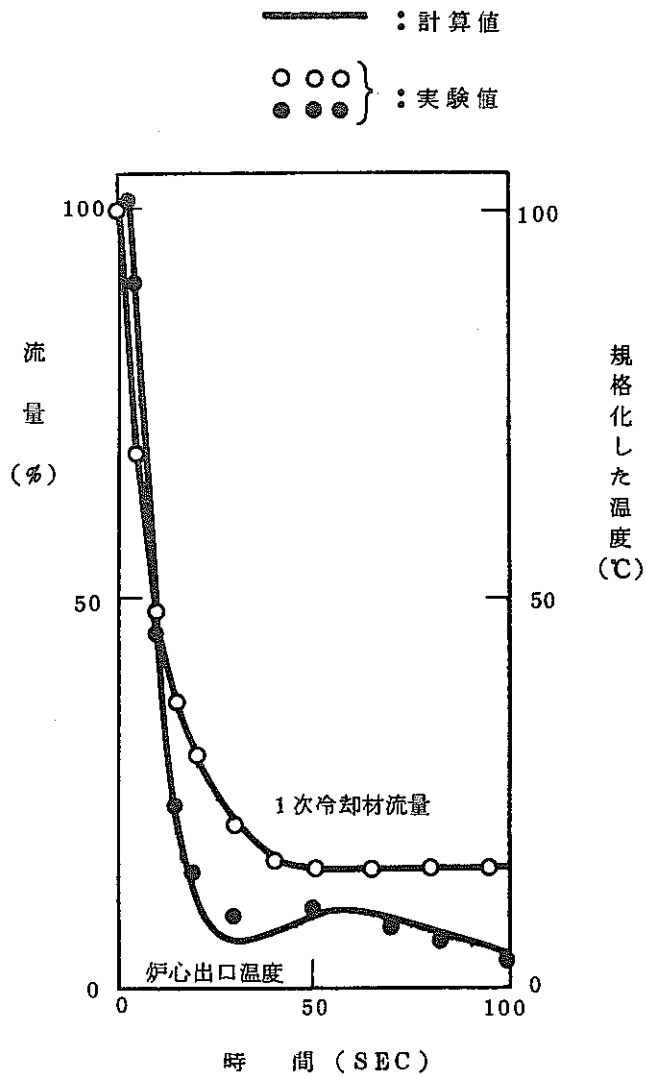
第13図 核モデル比較
(「常陽」調整棒一斉挿入)

——：計算値

○○○：実験値

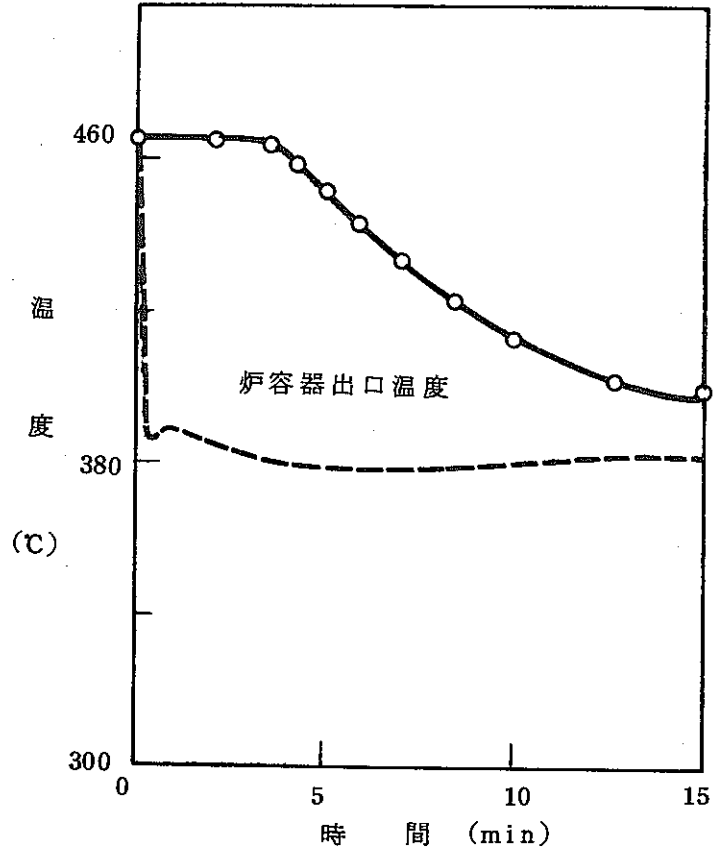


第14図 炉心熱モデル比較
(「常陽」手動トリップ)



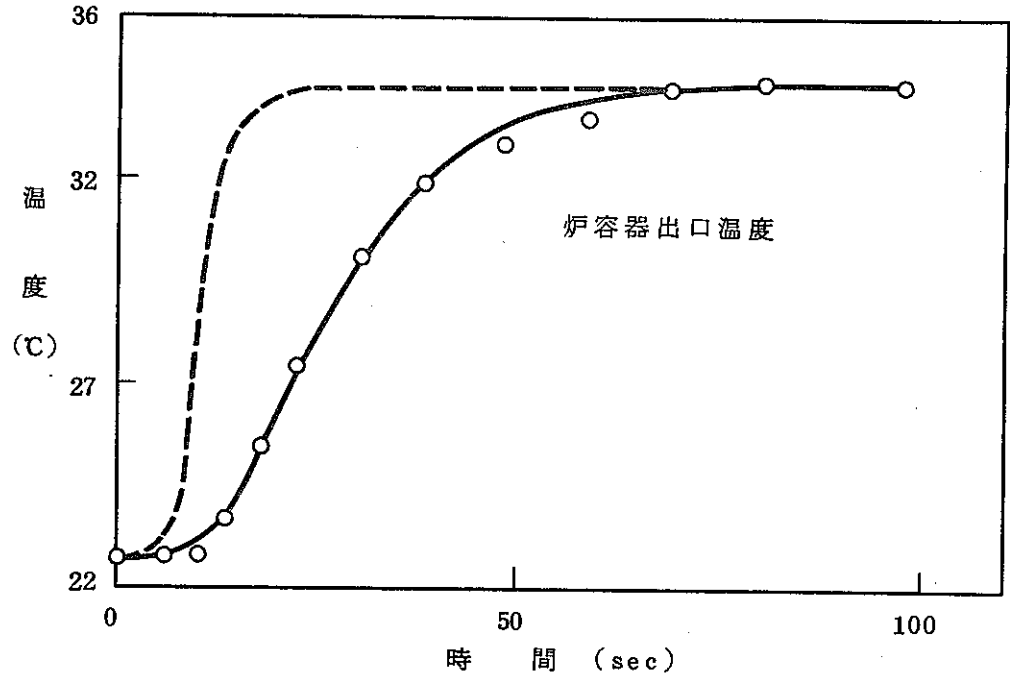
第 15 図 炉心熱モデル, 1次系流動モデル比較
 (「常陽」電源喪失)

----- : 入力
————— : 計算値
○ ○ ○ : 実験値

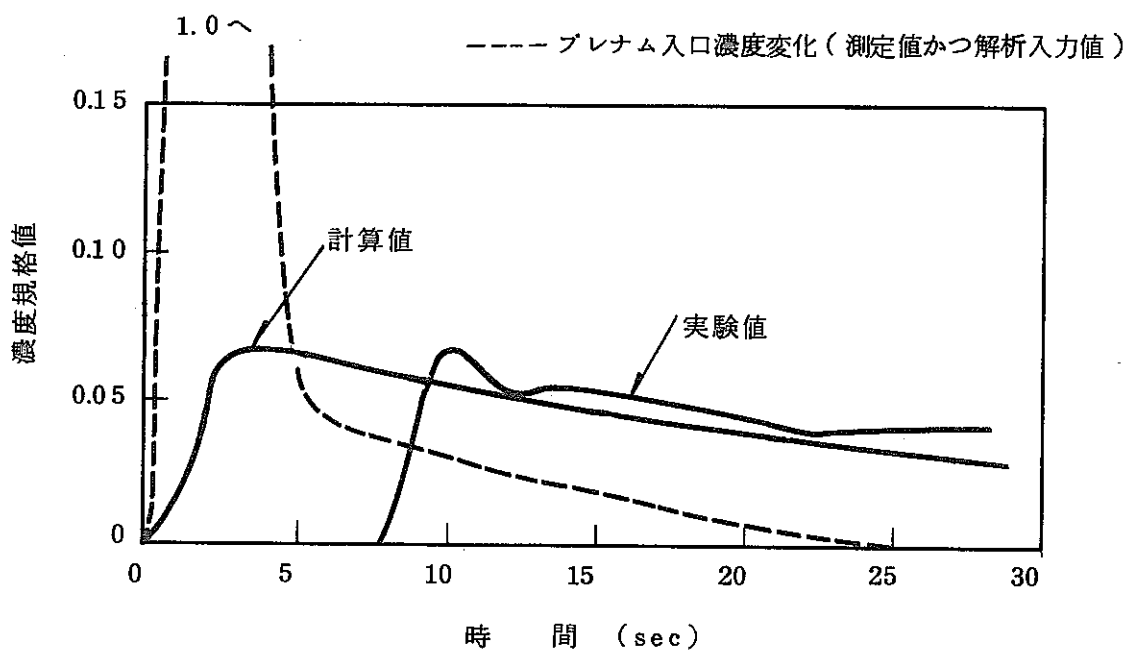


第 16 図 上部プレナムモデル比較
（「常陽」電源喪失）

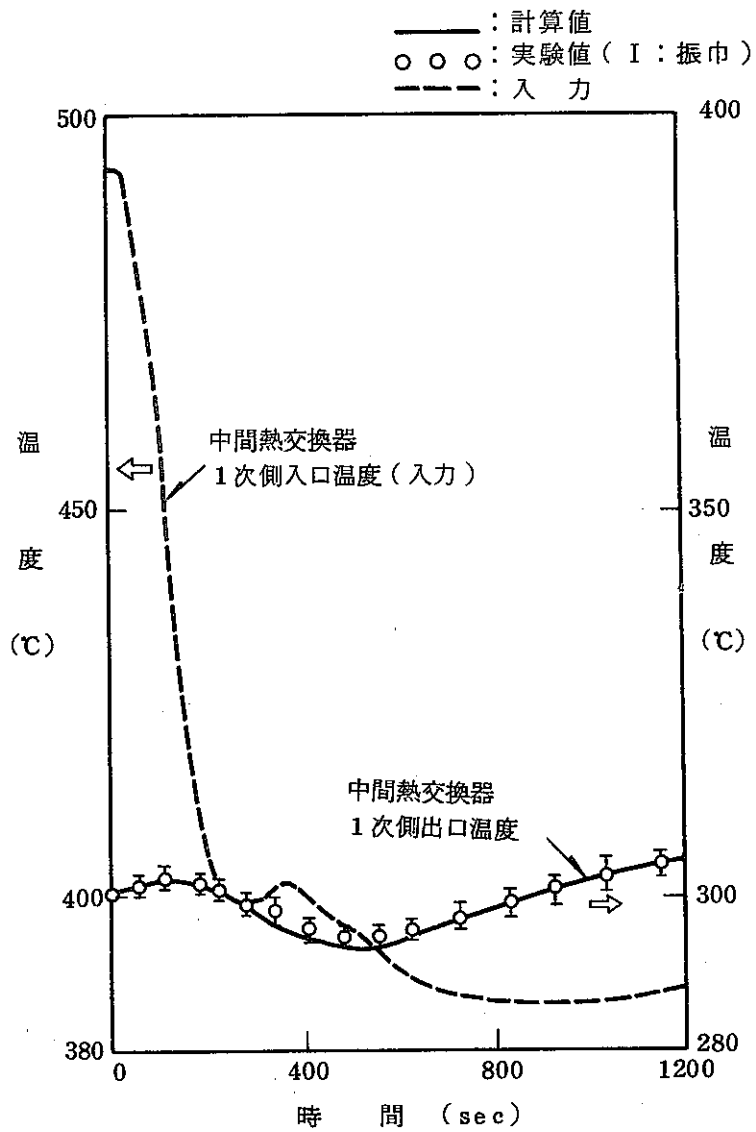
----- : 入力値
————— : 計算値
○ ○ ○ : 実験値



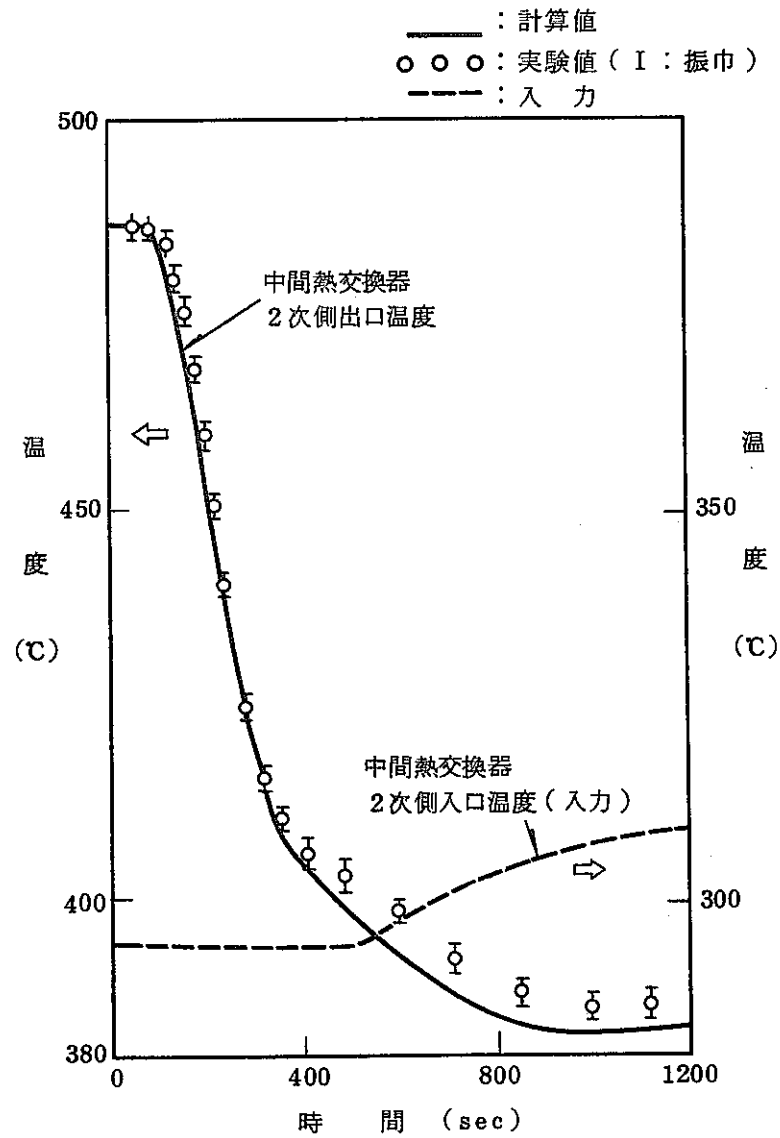
第 17 図 上部プレナムモデル比較
（水流動試験）



第 18 図 下部プレナムモデル比較
(水流動試験)

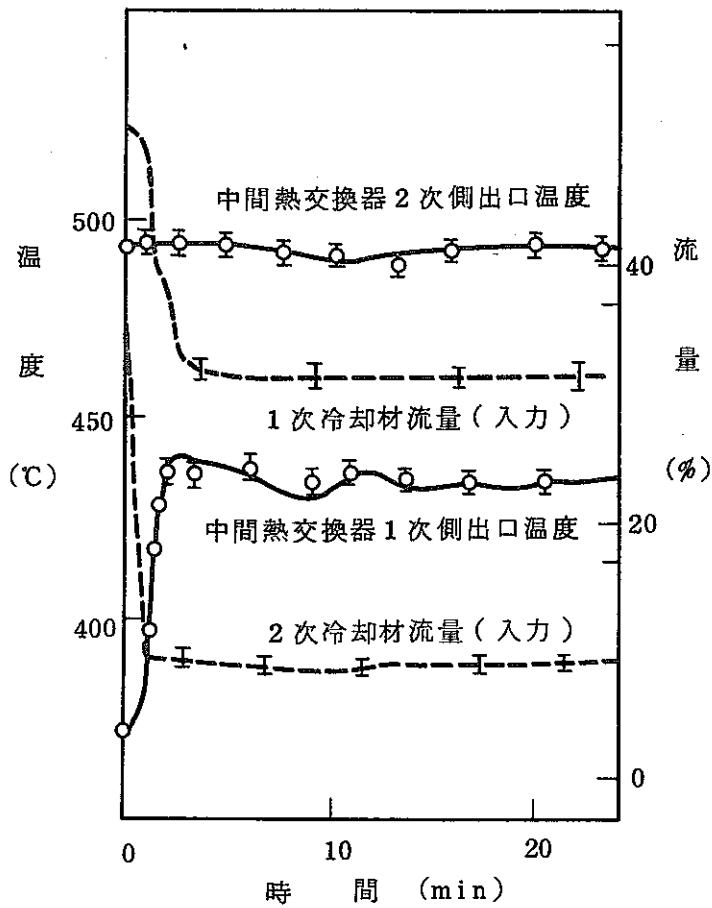


第 19 (1) 図 中間熱交換器熱モデル比較
(50MW, 温度外乱)



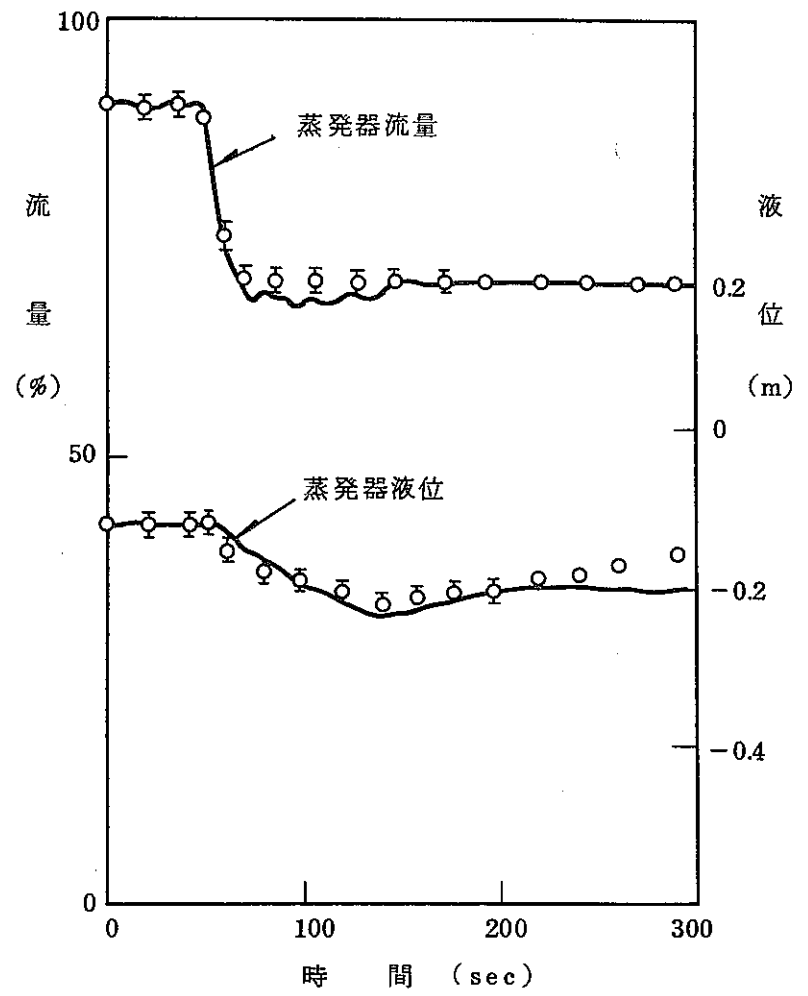
第 19 (2) 図 中間熱交換器熱モデル比較
(50MW, 温度外乱)

———— : 計算値
 ○ ○ ○ : 実験値 (I : 振巾)
 - - - - : 入 力



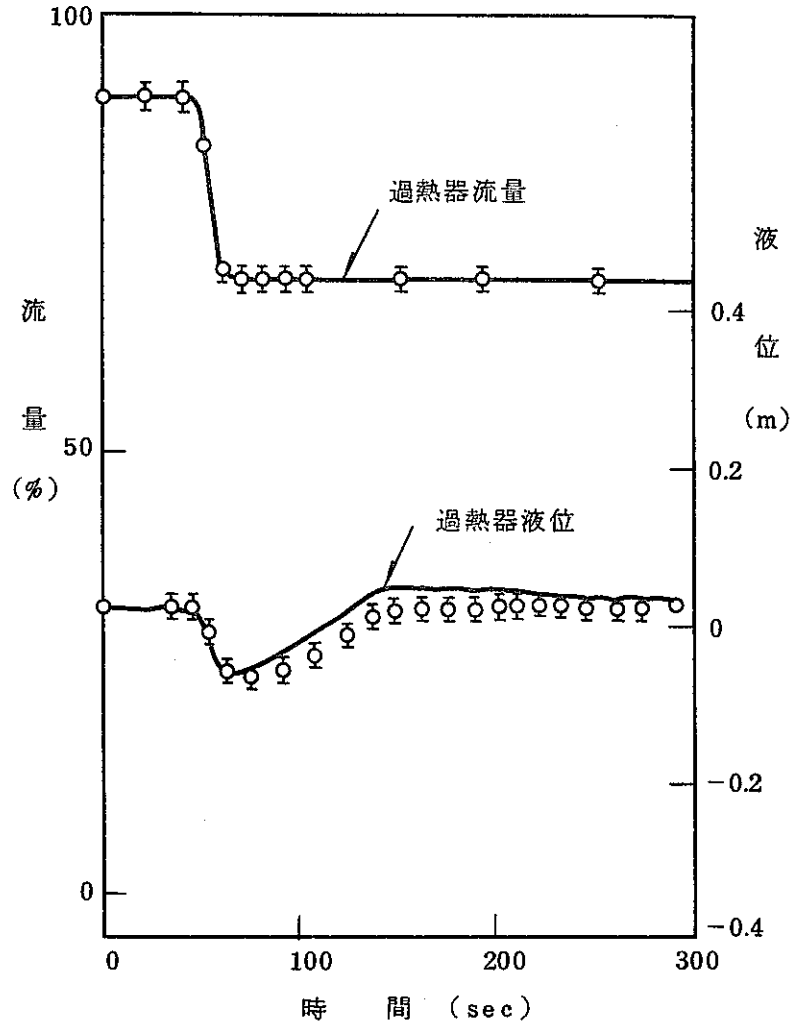
第 20 図 中間熱交換器熱モデル比較
 (50MW, 流量外乱)

——：計算値
 ○ ○ ○：実験値 (I : 振巾)

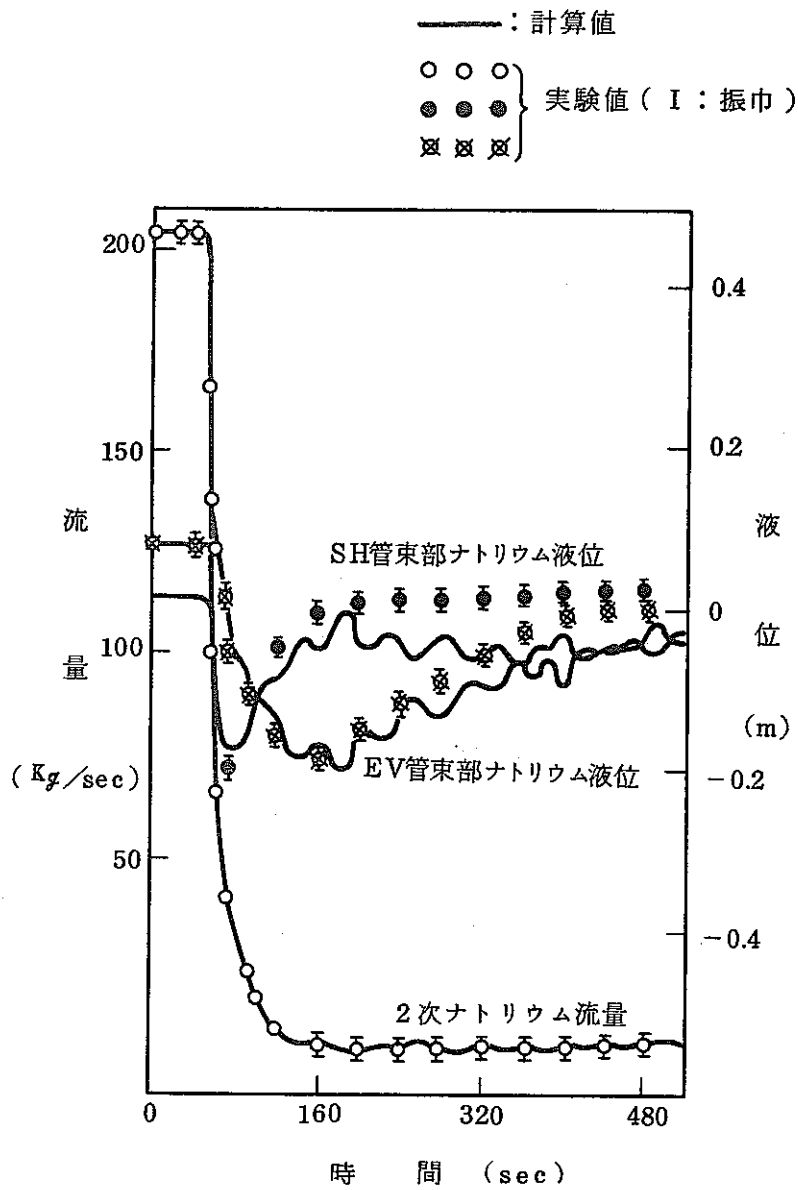


第 2 1 (1) 図 2 次系流動モデル比較
 (5 0 M W , 流量外乱)

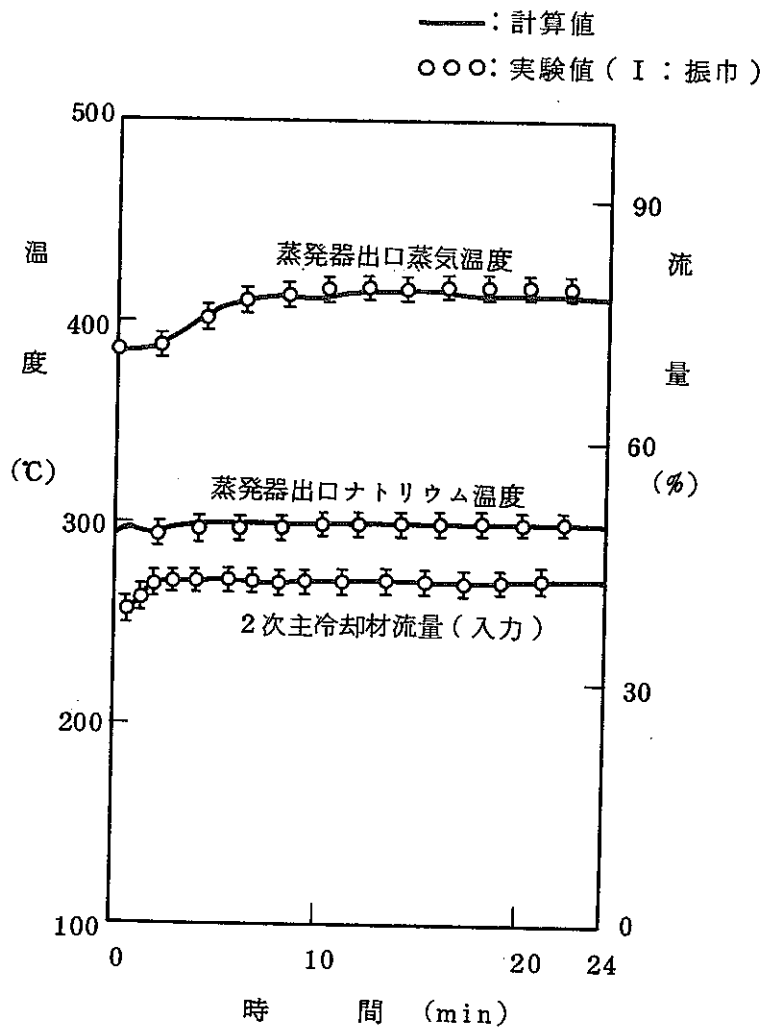
——：計算値
 ○ ○ ○：実験値 (I : 振巾)



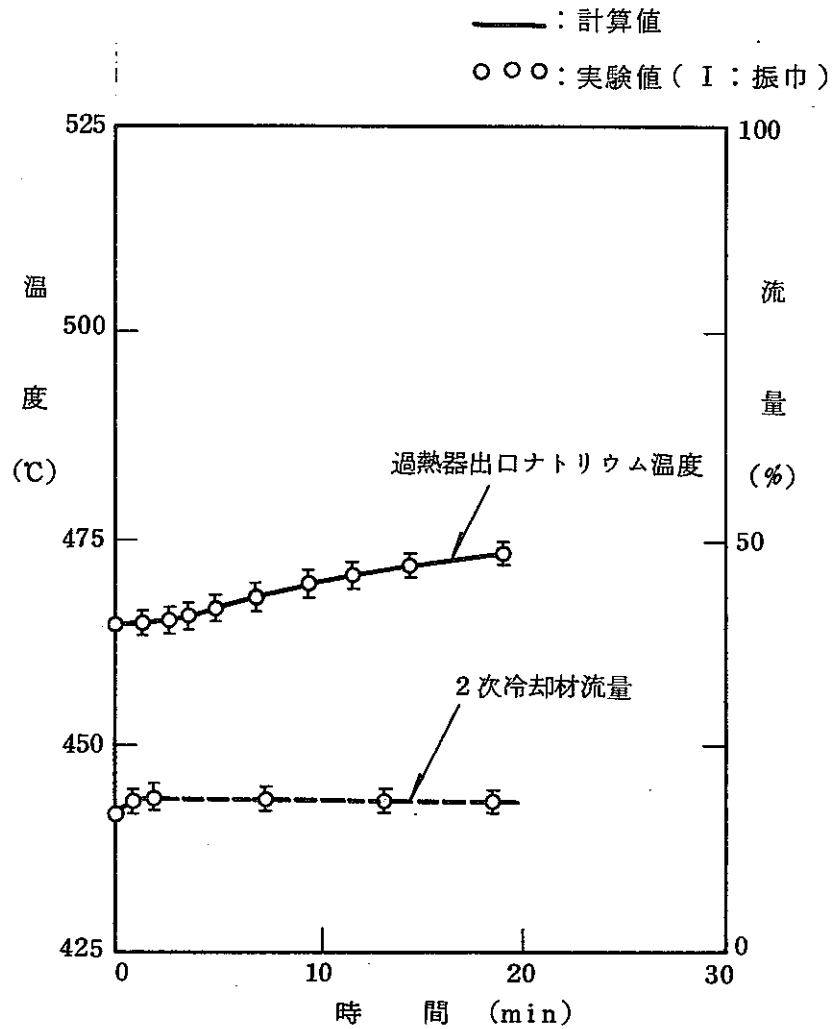
第 2 1 (2) 図 2 次系流動モデル比較
 (5 0 M W , 流量外乱)



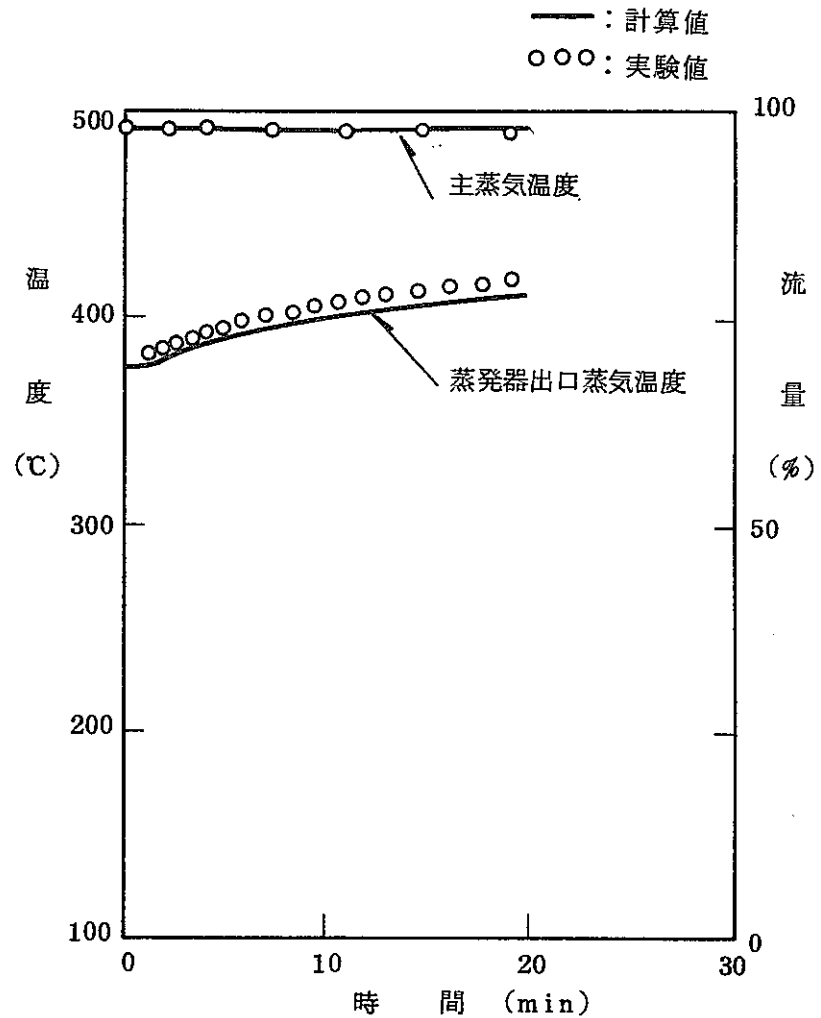
第 22 図 2 次系流動モデル比較
 (50MW, ポンプトリップ)



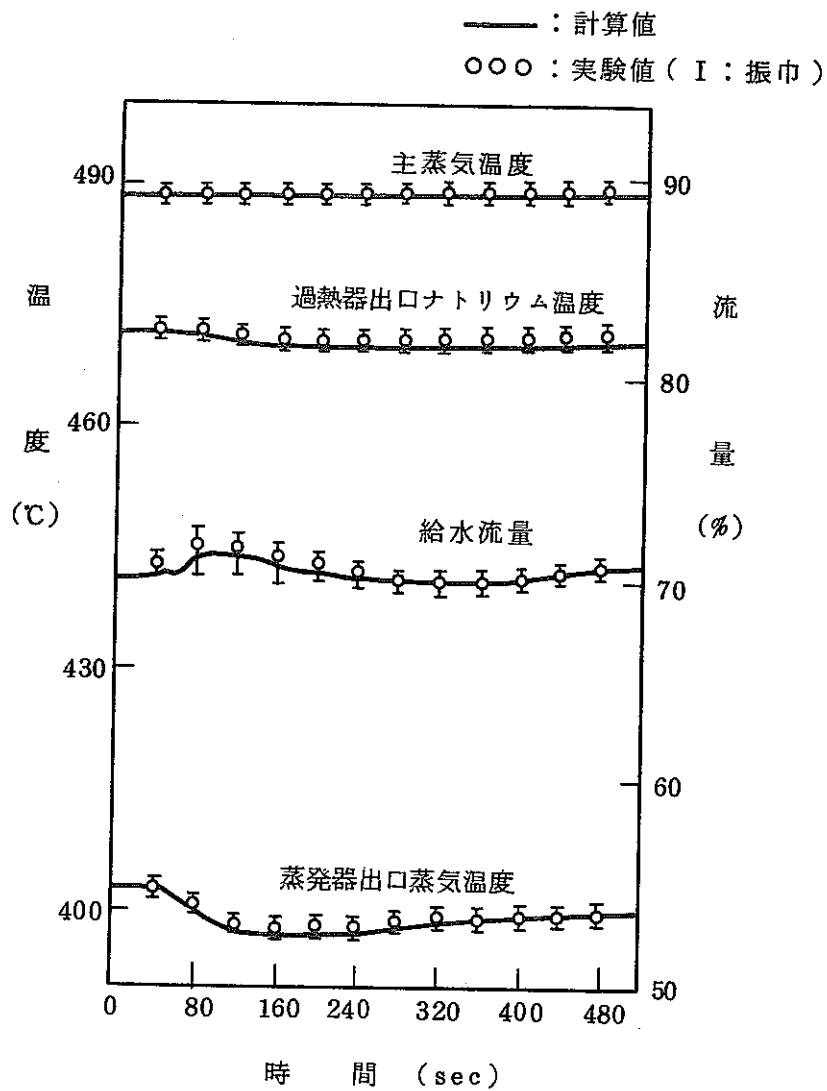
第23図 蒸気発生器の熱モデル比較
(50MW, 2次系流量外乱)



第 2 4 (1) 図 蒸気発生器熱モデル比較
(50MW, 2次系流量外乱)

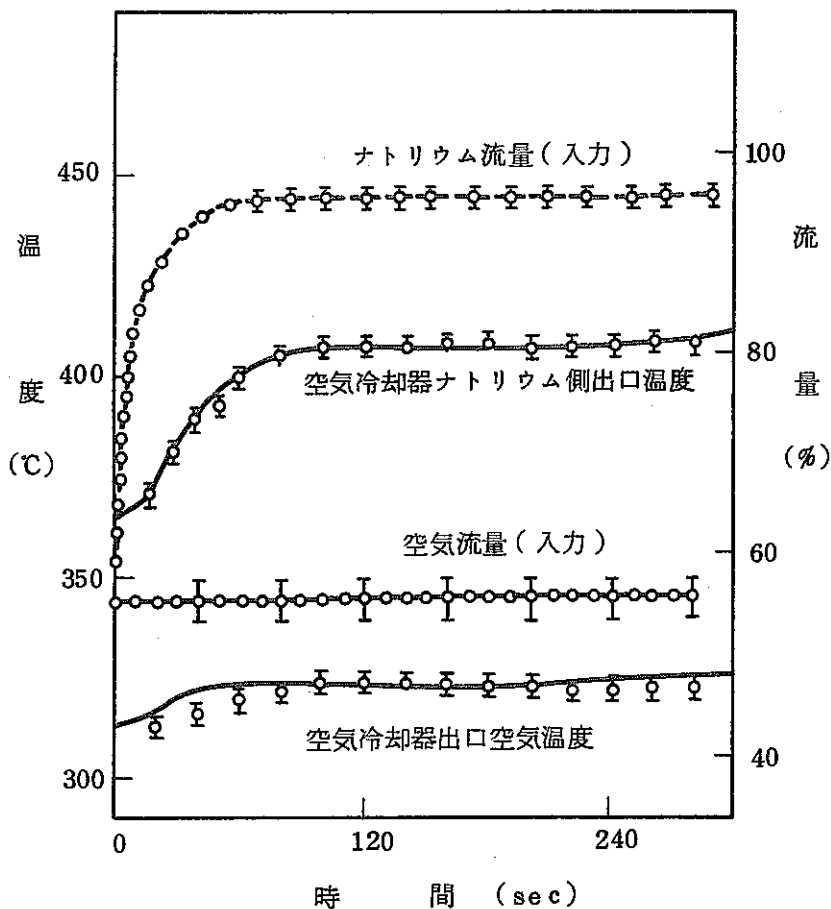


第 2 4 (2) 図 蒸気発生器熱モデル比較
(50MW, 2次系流量外乱)



第 25 図 水／蒸気系流動モデル比較
 (50MW, 制御系目標値外乱)

———: 計算値
 ○ ○ ○: 実験値 (I : 振巾)
 - - - : 入 力



第 26 図 空気冷却器の熱モデル比較
 (50MW, ナトリウム流量外乱)