

C41

自己加圧型船用炉の動特性

(Ⅱ) 加圧特性解析コード

日立造船 ○山 中 諒 治 船 研
芝浦工大 萩 原 建 一

横 村 武 宣

1. まえがき

現在、研究開発が進められている船用炉の小形軽量化という点からみて、自己加圧型船用炉は将来の船用炉として有力なものとなってくるであろうと思われる。自己加圧型船用炉は、「自己加圧方式」であり、強制的な圧力制御は行なわれない。したがって、その加圧特性を解析することは、設計はもちろんのことであるが、安全性の検討という意味で、最も重要なことであると考えられる。それに関連する原子炉系の不安定性の問題は、水力学的不安定性の問題と、水力系と原子炉系との組み合わせによる不安定性の二つに分類することができ、前者は二相流系の一定出力時にあける流量と蒸気ボイドのフィード・バックによる不安定問題と考えることができ、後者は原子炉中性子系と蒸気ボイド、温度係数などの反応度フィード・バックによる不安定問題と考えることができる。

本研究はこれらの諸特性を考慮した動特性解析プログラムを作成することを目的としたもので、ここではプログラムの概要とこれまでに行なった実験との比較について述べる。

2. プログラムの概要

プログラムのフロー・シートは図1に示した通りである。

解析モデル

(i) 中性子系

$$\frac{dQ_F}{dt} = \frac{\delta k - \beta}{l} \cdot Q_F + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \quad \text{--- ①}$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{l} \cdot Q_F - \lambda_i C_i \quad \text{--- ②}$$

$$\delta k = \delta k_M + \delta k_D + \delta k_\alpha + \delta k_R \quad \text{--- ③}$$

但し M: 減速材 D: ドプラー α : ボイド R: 制御棒

ここでは、炉心と一点近似し、熱中性子は一群、遅発中性子六群とする。また熱出力は中性子束に比例するとした。

$$\frac{dT_F}{dt} = \frac{Q_F}{(M \cdot C_p)_F} - \frac{(hA)_F}{(M \cdot C_p)_F} \cdot (T_F - T_{F0}) \quad \text{--- ④}$$

$$(hA)_{FC} (T_{F0} - T_w) = (hA)_F \cdot (T_F - T_{F0}) \quad \text{--- ⑤}$$

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{1}{(M \cdot C_p)_w} \left(\frac{hA}{X} \right)_w \cdot (T_w - T) = \frac{(hA)_{FW}}{(M \cdot C_p)_w} \cdot (T_{F0} - T_w) \quad \text{--- ⑥}$$

ここで $\left(\frac{hA}{X} \right)_w \cdot (T_w - T)$ は燃料から冷却材に伝えられる熱量。

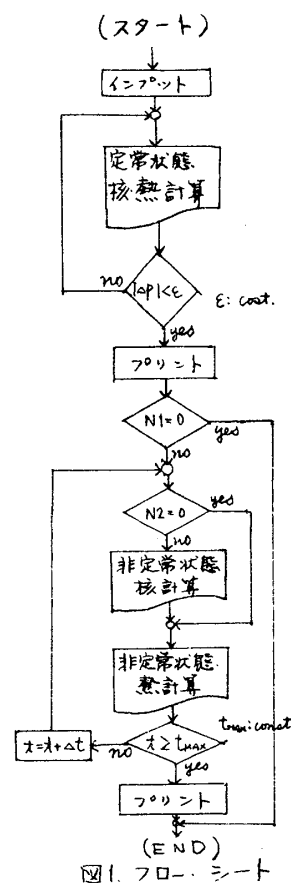


図1. フロー・シート

⑥ 熱水刀系

Bouring のモデル

本報告の特色として取り上げ、リッフル沸騰とは、冷却材の主流中に気泡が存在するが、冷却材温度は飽和温度以下である状態である。このリッフル沸騰領域において、沸騰に寄与する熱の割合として次式で与えられる Bouring のモデルを用いた。

$$q = q_B + q_C$$

$$q_B = \frac{1}{1 + \varepsilon} \cdot q$$

$$q_C = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \cdot q$$

$$\varepsilon = 3.2 C_{FL} \gamma_L / \gamma_S \cdot H_{fg} \quad 1.0 \leq P \leq 9.8 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$= 1.3 \quad 9.8 \leq P \leq 103.4 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

但し q : 全熱流束 q_B : 沸騰に寄与する熱量 q_C : 併流により冷却材に伝わる熱量。
さらにリッフル沸騰領域では、気泡は周囲の冷たい液体に熱を奪われて消滅していく。消滅する割合は、一般にリッフル温度、冷却材流速により決まる値で、ここでは Bankoff らの実験式と関数型プログラムにして用いた。

エンタルピー計算

対象とするループ各部におけるエンタルピーは4点近似式を用いて計算した。

すなわち

$$H_j^{n+1} = \frac{r_j^n (r_j^n + 1)}{2} \cdot H_{j-1}^n + [1 - (r_j^n)^2] \cdot H_j^n + \frac{r_j^n (r_j^n - 1)}{2} \cdot H_{j+1}^n + \frac{\Delta t^n \dot{Q}_j^n}{\dot{L}_j}$$

$$r_j^n = \frac{\Delta t^n \dot{L}_j^n}{\Delta z} \quad j = 1, 2, \dots$$

圧縮過程と膨脹過程

ドーム内の冷却材と蒸気の間に飽和平衡が成り立つと仮定した場合と、サージ体積だけ圧縮されるが蒸気は非凝縮で理想気体として考える場合に分類して計算してみた。

3. 結果と検討

計算結果の一例を図8に示す。計算値としてプロットしたのは、圧縮過程・膨脹過程とも飽和蒸気モデルで計算した値である。

本報告では、実験値との比較という意味で、核熱動特性計算は行われなかったが、今後本研究を進めていく上で核計算へのフィード・バックが必要である。

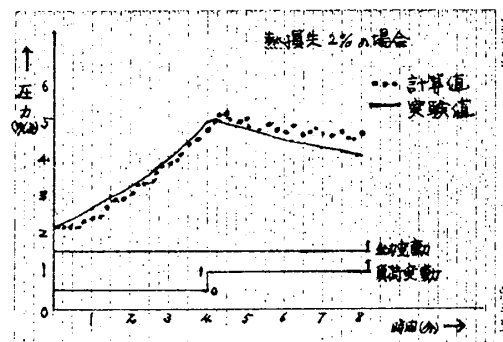


図8 計算結果と実験値