機構論的な沸騰遷移相関モデルの開発（その 1）
機構論的沸騰遷移相関モデルの導出

Development of Mechanistic Boiling Transition model (Part 1)

Derivation of mechanistic boiling transition correlation model

*増原 康博，関根 将史，金子 順一

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

三流体解析の機構論的な考え方を沸騰遷移相関式に導入することを目的に、三流体の基礎式と構成式をベースに、熱的裕度を三流体式で表し、沸騰遷移相関式の一般式を導出した。さらに、一般式を簡素化し、3 変数でフィットし実験値を再現できる実用的な相関式を作成した。

キーワード：BWR, 限界出力, 沸騰遷移, 液滴飛散, 液滴付着

1. 緒言：BWR の限界出力評価で使用される沸騰遷移相関式は、従来、実験ベースのものが主であったが、今回、燃料棒表面上の液滴の飛散や付着に基づく機構を反映した機構論的沸騰遷移相関モデル(以下「MCHNC-CISE」と呼ぶ)を考案した。

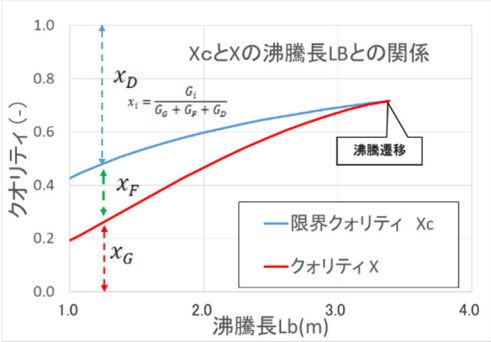

図 1　限界クォリティとの関係

2. 結果：(1) 限界クォリティX_Cの物理的な意味：蒸気、液膜、液滴の挙動を扱う三流体解析では、限界出力評価で使用する熱的余裕度は下記のように定義でき[1]、従来の余裕度TH_mと等しいと仮定すると、

$$TH_{Mchnc} \equiv 1 + \frac{G_F}{-\frac{4}{D_H}\int\left(\frac{\partial D}{\partial x}-\frac{\partial E}{\partial x}\right)(x+x_{IN})dz+\frac{Q}{AH_{FG}}} \cong 1 + \frac{x_F}{x_G+x_{IN}} \triangleq TH_m \equiv \frac{X_C+X_{IN}}{X+X_{IN}}$$

限界クォリティX_Cは蒸気と液膜の流量割合の和 $X_C = x_G + x_F$、又は、全体から液滴の流量割合x_Dを引いたもの $X_C = 1 - x_D$となる。

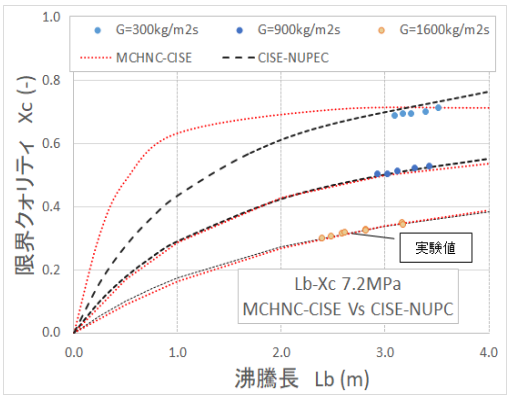

図 2　解析例（CISE 型相関式との比較）

結果を図 1 に沸騰長に対する限界クォリティX_C、x_G, x_F, x_Dとの関係として示す。X_CとXの差がx_Fに対応し、x_Fがゼロの時に沸騰遷移が発生することなる。

(2) 機構論的沸騰遷移モデル式の導出：限界クォリティが$X_C = 1 - x_D$となることに着目し、液滴及び液膜の質量保存則より、下記の液滴流量割合x_D及び液膜厚さδ_Fの微分方程式を導く。方程式の厳密解を解き、液滴飛散量関数$E = E(\delta_F)$の関係を利用し、x_D、X_Cを求める。$\frac{\partial}{\partial z}x_D + \alpha_1 x_D = \beta_1$ --1)　$\frac{\partial}{\partial z}\delta_F + \alpha_2\delta_F = \beta_2$ --2)

$\alpha_1 = \frac{4K_D}{D_H u_D}$　$\beta_1 = \frac{4}{D_H}\frac{E}{G_T}$　$\alpha_2 = \frac{4}{D_H}\frac{1}{\rho_L U_F}\left(\frac{\partial E}{\partial \alpha_F}\right)$　$\beta_2 = \frac{1}{\rho_L U_F}(D - B)$　K_D:液滴付着係数。MCHNC-CISE の一般式は下記のようになる。　$X_C = 1 - x_D = \left(1 - c_1 + \frac{c_2}{\alpha_2-\alpha_1}\right)\left(1 - e^{-\int_0^{Lb}\alpha_1 dz}\right) - \frac{c_2}{\alpha_2-\alpha_1}(1 - e^{-\alpha_2 Lb})$--3)

3) 式を以下のように近似する。　$X_C = (X_{99})(1 - e^{-b_1\int_0^{Lb}\alpha_1 dz})$　--4) 、$X_{99} = Function(G_T, b_2, b_3)$

ここで、b_1, b_2, b_3の係数及びX_{99}の関数形は実験的に決めた。また、図 2 に MCHNC-CISE の解析例を示す。10 変数の CISE-NUPEC 実験相関式[2]と同様、実験値によく一致する。MCHNC-CISE は機構論モデルなので適用性が広いと考えられる。

3. 結論：液滴等の保存則に基づく沸騰遷移相関モデル式を導出した。解析結果は CISE 型の結果と類似する。

参考文献　：[1]増原他、G23、2005 年秋の大会　[2]JNES/SAE06-039 (06 解部-0039) 平成 18 年 6 月

* MASUHARA Yasuhiro, SEKINE Masashi and KANEKO Junichi

Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)