

測定値を用いた最小二乗法による BWR の出力分布の最確値推定法の見直し(2)

Review of Method for Estimating Most Probable Power Distribution in BWRs

by Least Squares Method Using In-core Measurements (2)

*江連 秀夫

株式会社 ナイス

キーワード：三次元拡散方程式，測定値，最小二乗法，最確出力分布，データ同化法(DA)

1. まえがき

前回の発表に基づき、三次元二群熱水力拡散計算手法を用いた出力分布の最確値推定プログラムを改良することとし、(1)新規プログラムの作成と既存プログラムの改良との利害比較、(2)三次元二群拡散方程式の解法の選択と妥当性、(3)その他、プログラム言語及び Compile 等について検討した結果を発表する。

2. 最確値推定プログラム作成

新規にプログラムを作成する場合は、核熱水力計算が同時にできることが計算時間を節約する上で必須である。その初期段階で、核計算に必要な核定数は燃焼度・ボイド・制御棒の有無等、ボイドはクオリティ・炉心流量、燃料温度は出力密度等の関数近似法を用いる。このように最確値計算をするには必要な核熱水力定数の準備がある。このことから、これらが備わった既存のプログラムを活用すること最も良い方法である。

核計算には三次元二群拡散方程式を advanced nodal method (ANM) で解く方法を用いる。この方法は、一次元平板炉心の解析解から 2 領域境界面の中性子流が、それぞれの領域の物性特性を重みとしたノード平均中性子束の差(1)式で表す手法である。

$$\bar{J} = -(P_2 T_2 \Delta_2^{-1} + P_1 T_1 \Delta_1^{-1})^{-1} (P_2 C_2^{-1} \bar{\Phi}_2 - P_1 C_1^{-1} \bar{\Phi}_1) \quad \dots(1)$$

P, T, Δ : 解析解から(1)式を誘導した時の特性マトリックス

拡散方程式から導かれるノードの中性子バランス方程式に(1)式を代入すると、次式が導かれる。

$$\bar{\Phi}^i = \left[\sum_{K=x,y,z} \sum_{m=1,-1} \frac{(\varepsilon_K^i + \varepsilon_K^{i+m})^{-1} \Gamma_K^i}{2\ell_K} + \Pi^i \right]^{-1} \sum_{K=x,y,z} \sum_{m=1,-1} \frac{(\varepsilon_K^i + \varepsilon_K^{i+m})^{-1} \Gamma_K^{i+m}}{2\ell_K} \bar{\Phi}_K^{i+m} \quad \dots(2)$$

$$P_1 T_1 \Delta_1^{-1} \rightarrow \varepsilon_K^i, P_1 C_1^{-1} \rightarrow \Gamma_K^i$$

(1)式のサフィックス 1 を i 、サフィックス 2 を $i+m$ に置換える。 Π^i : 炉定数マトリックス、 ℓ_K : K 軸のノード半値巾ノード法(NM, 差分法)では(1)式に対して、次式が用いられる。

$$\bar{J} = -(\ell/D_2 + \ell/D_1)^{-1} (\bar{\Phi}_2 - \bar{\Phi}_1) \quad \dots(3)$$

(1)及び(3)式のマトリックス要素の比較をすると、ノード巾が小さくすると、ANM は NM と同じマトリックスになる(図 1 参照、図中の $X_{11} \dots X_{22}$ 及び $G_{11} \dots G_{22}$: $P_1 T_1 \Delta_1^{-1}$ 及び $P_1 C_1^{-1}$ の 2×2 マトリックスの要素 11, 12, ..., (A), (N) : ANM, NM の意味)。従って、(2)式から得られる解は NM と同じになる。また、(2)式を一次元形式に変形した結果は、精度が良いと言われる Transverse leakage 法(TLM)と同形になる。

測定値と中性子束の関係式 : $MX = Z$ $\dots(4)$ M : Measurement operator, Z : 測定値

(2)と(4)式に最小二乗法(LSM) : $X = \delta X_b + (W_1)^{-1} M^T W_2 (Z - MX_b)$ $\dots(5)$

δ : (2)式の Iteration operator, X_b : (2)式の Guessed values, W_1, W_2 : Weighted matrixes

が得られる。また、BWR の炉内検出器は 4 体の燃料体に囲まれているので(5)の第二項は次のように表される。

$$M^T W_2 (Z - MX) = \sum_{\mu=i} \left(\begin{matrix} \zeta_1^{\mu+0} & \varepsilon_1^{\mu} \\ \zeta_2^{\mu+0} & \varepsilon_2^{\mu} \end{matrix} \right) W_2 \left\{ z^{\mu} - \sum_{p=0}^3 \left(\varepsilon_1^{\mu} \zeta_1^{\mu+p} \bar{\varphi}_1^{\mu+p} + \varepsilon_2^{\mu} \zeta_2^{\mu+p} \bar{\varphi}_2^{\mu+p} \right) \right\} \quad \dots(6)$$

ε_1^{μ} : 検出器効率、 $\zeta_1^{\mu+p}$: $\mu+p$ ノードの中性子束の検出器への寄与率

(5)式は測定値による計算値の修正が第一項を介して他のノードの計算に伝播される。DA の確率論的修正と異なる。

3. あとがき ANM と TLM, LSM と DA との対比評価の深化等の検討すべき項目について整理し、発表したい。

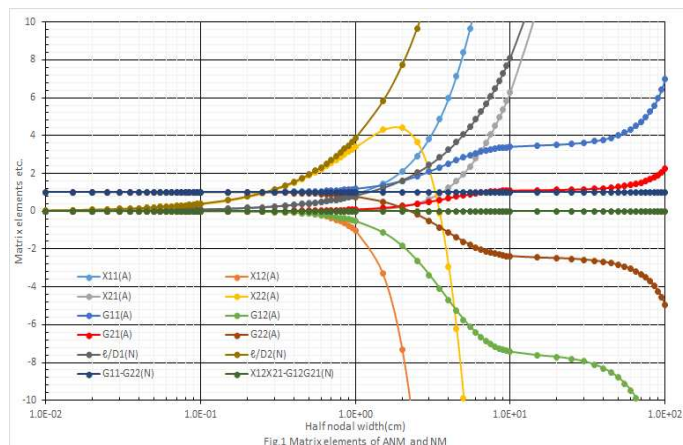


Fig.1 Matrix elements of ANM and NM

参考文献 1) Tamer Bahadir, Sten-Orjan Lindahl and Scott P. Palmtag, "Sumulate-4 multigroup nodal code with microscopic depletion model", Mathematics and computation supercomputing, reactor physics and biological applications (2005), 2) Ezure H.: "Estimation of most probable power distribution in BWRs by least squares method using in-core measurement," J. Nucl. Sci. Technol., 25, 731-740 (1988), 3) Bertrand Bouriquet, Jean-Philippe Argaud, Pertrand Brhard, Angeique Poneot, "Unified nuclear core activity map reconstruction using heterogeneous instruments with data assimilation," arXiv: 1108.5971v1 [physics.data-aui] 30 Aug 2011, 4) H. Ezure, "Method for Solving Three-dimensional Two-group Diffusion Equation", Proc. 2005 Fall Mtg. of the Atom. Ener. Soc. of Japan, E-52 [in Japanese], 5) dittoes, Comparison of Traverse Leakage Method with Separation of Variables", 2012 Spring, C29, [in Japanese].

*Hideo Ezure Nippon Advanced Information Service Company, Inc. (NAIS)