

ナトリウム冷却高速炉の熱流動解析評価手法整備におけるV&V実施手順の具体化

(2) 基本妥当性確認解析におけるモデル不確かさの定量評価

Establishment of V&V Procedure of Numerical Estimation Method for Thermal-Hydraulic Phenomena in Sodium-cooled Fast Reactor

(2) Quantification of Model Uncertainty of Numerical Simulation in Fundamental Validation

*田中 正暁¹

¹原子力機構

熱流動解析評価手法整備における V&V 実施時のモデル不確かさの定量評価手順を具体化するべく、解析コードの基本妥当性確認として実施した T 管部異温度流体混合水試験 (WATLON) 解析を対象として、試験結果との比較から解析結果の有するモデル不確かさを定量化した結果について報告する。

キーワード: 検証と妥当性確認 (V&V), 格子収束性 (GCI) 評価, AVM 法, 不確かさ評価, 熱流動解析

1. 緒言 これまでに既往ガイドライン[1,2]を参照した V&V 実施手順の枠組 (V2UP) と既存手法を改良した GCI 評価手法 (SLS-GCI 法) [3]を整備してきた。本報では、SLS-GCI 法と、試験結果と解析結果との差を定量化する Area Validation Metrics (AVM) 法の修正版を用い、解析結果の有するモデル不確かさの定量化を試みた。

2. 解析条件 流体-構造熱連成解析コード (MUGTHES) の基本妥当性確認として実施した、T 字合流部において枝管からの低温流体が主配管内面に沿って流れる壁面噴流条件を境界条件とする WATLON 解析結果[4]を対象とした。GCI 評価のため空間分解能の異なる 3 つの解析メッシュ (Coarse, Middle, Fine) で過渡解析が実施されている。

3. 解析結果 (不確かさ評価) 図 1 に合流点から $0.5D_m$ (D_m : 主配管径) 下流での温度変動強度の周方向分布 (主配管壁から 1 mm 内側) を例として示す[4]。Fine の解析結果 (流体温度) が評価対象である。

3-1. 不確かさ評価手法 モデル不確かさ (u_m) は、(1)入力不確かさ ($u_{inp}=0$ と暫定)、(2)離散化等による不確かさ (u_{num}) 及び(3)実験不確かさ (u_D) の 3 つの成分の二乗和の平方根で表される不確かさ (u) と、試験結果と解析結果との差 (d) により、 $u_m \in [d-u, d+u]$ で表される[1,2]。 u_{num} は SLS-GCI 法で定量化する。 u_D は試験境界条件 (平均値) のばらつき[5]と熱電対単体の不確かさを暫定的に評価する。 d について、図 2 に示す例 ($\theta = -\pi/6$) のように、試験 (E) と解析 (S) の時系列データから累積頻度分布 (それぞれ $C_E(x)$ 及び $C_S(x)$) を算出し、 $C_E(x)$ 及び $C_S(x)$ で囲まれる領域の面積として定量化する AVM 法に対して、 $C_E(x) < C_S(x)$ となる領域 ($d+$) と $C_E(x) \geq C_S(x)$ となる領域 ($d-$) を区別して評価する修正 AVM (MAVM) 法[6]を採用する。

3-2. 不確かさ評価結果 図 3 に図 1 各点の不確かさ評価結果を示す。縦軸は不確かさの程度 (DoD) を示している。(S-E) は時間平均値の差である。モデル不確かさは赤色と青色の点線で囲まれる $[(d-)-u < u_m < (d+)+u]$ の範囲で、 ΔT ($=15^\circ\text{C}$) の 30%~20% の範囲となった。

4. 結言 SLS-GCI 法と MAVM 法によるモデル不確かさの定量評価手順を構築した。今後、入力不確かさ及び実験不確かさの評価手順、実機評価での不確かさの統合及び外挿方法を検討する。

参考文献[1]ASME V&V 20-2009, [2]AESJ-SC-A008:2015, [3]田中, 2015 年秋の大会, D16. [4]M. Tanaka and Y. Miyake, JSME MEJ, Vol. 2, No.5 (2015), [5]TS Z 0033:2012, [6] C. J. Roy. and I. Voyles, ASME V&V Symposium, 39525 (2013).

*Masaaki Tanaka¹

¹Japan Atomic Energy Agency

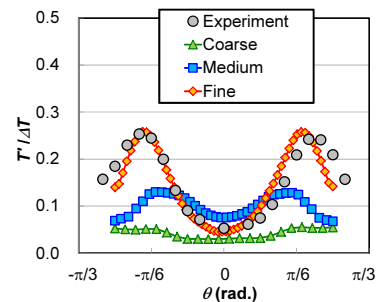


図 1 流体温度変動強度の周方向分布 ($0.5D_m$ 下流、1 mm 内側)

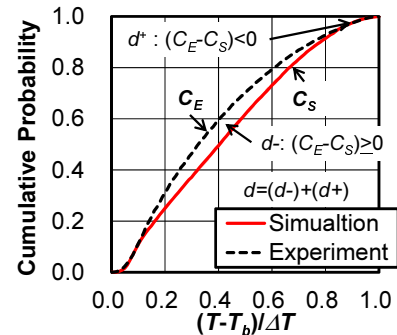


図 2 累積頻度分布

($0.5D_m$ 下流、1 mm 内側、 $\theta = -\pi/6$)

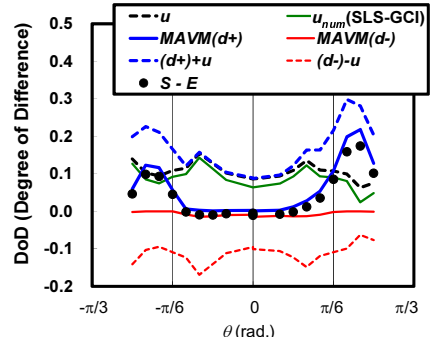


図 3 モデル不確かさの定量評価 ($0.5D_m$ 下流、1 mm 内側)