

# 過酷事故時の原子炉格納容器・原子炉建屋の安全性解析コード BAROC の開発

## (1) 3次元熱流動解析技術

Development of a CFD Compressible Fluid Dynamics Simulation Code: BAROC for Safety Analysis of Containment Vessel and Reactor Building Under Severe Accident Conditions

### (1) A Method of CFD Compressible Fluid Dynamics

\*三橋利玄<sup>1</sup>, 高橋淳郎<sup>1</sup>, 大西史倫<sup>1</sup>, 浜野明千宏<sup>1</sup>, 波田地洋隆<sup>1</sup>, 小池秀耀<sup>1</sup>, 内藤正則<sup>1</sup>

<sup>1</sup>アドバンスソフト株式会社

陰解法による3次元圧縮性流体解析機能の他、水素を含む多成分ガス挙動解析機能、水蒸気凝縮解析機能、セシウム挙動解析機能などを有した過酷事故時における原子炉格納容器および原子炉建屋内の解析コード BAROC を開発し、その妥当性、有効性を確認した。

キーワード: BAROC、3次元圧縮性流体解析、陰解法、多成分ガス、水素挙動、水蒸気凝縮、過酷事故

### 1. 緒言

過酷事故時における原子炉格納容器および原子炉建屋内の水素や水蒸気分布、水蒸気凝縮、セシウム挙動などの物理現象を詳細に解析することは安全性解析において重要である。そこで、これら物理現象を同時に解析できる3次元圧縮性流体解析手法に基づく BAROC コードを開発した。

### 2. 3次元熱流動解析技術

BAROC コードの開発にあたって、多成分ガスに対する3次元圧縮性流体解析を SIMPLE 法系列の解法より効率良く計算できるように、新たな陰解法として圧力 Poisson 方程式をエネルギー保存式に基づいて組み立て圧力、流速、エネルギーが強く結びついた解法 (ECBA 法と呼ぶ) を独自に開発した。ECBA 法では、変形したエネルギー保存式(1)左辺の全エネルギー  $E$  を式(2)に置き換えて離散化することで、圧力修正量  $\delta p^{n+1(l+1)}$  に関する圧力 Poisson 方程式の連立方程式が得られる。なお、式(1)右辺の離散化式は行列計算の荷重項として代数的に計算する。

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot \left( \frac{E+p}{\rho} \right) \rho u - \nabla \cdot \lambda \nabla T \left( \frac{E}{\rho C_v} \right) = \nabla \cdot \lambda \nabla T - \nabla \cdot \lambda \nabla \left( \frac{E}{\rho C_v} \right) + \nabla \cdot \sum h_i \left( \rho D_{ij} + \frac{\mu t}{\sigma_c} \right) \nabla Y_i \quad (1)$$

$$E = \rho h - p + \frac{1}{2} \rho u^2 \cong \left[ \left( \frac{\rho h}{p} \right)^{n+1(l)} - 1 \right] (p^{n+1(l)} + \delta p^{n+1(l+1)}) + \left( \frac{1}{2} \rho u^2 \right)^{n+1(l)} \quad (2)$$

BAROC コードでは、ECBA 法による3次元圧縮性流体解析機能のほか、実在流体の状態方程式、水素、水蒸気を含む多成分ガス挙動解析機能、バルクおよび壁面での水蒸気凝縮解析機能、セシウム挙動解析機能、壁温度評価および壁熱伝達モデルなどを有する。

衝撃波管問題、サーマルキャビティ問題、3次元自然対流問題などの検証解析により、BAROC コードの妥当性を確認した。また、BAROC コードを用いた水素濃度の分布解析やセシウムの挙動解析 (いずれも別報) を行い、原子炉建屋内の3次元圧縮性流体解析への有効性を確認した。

### 3. 結論

BAROC コードを開発し、検証解析や原子炉建屋内の3次元圧縮性流体解析を行い妥当性、有効性を確認した。今後は原子炉格納容器および原子炉建屋特有の機器や現象に対する解析モデルの組み込み、並列化による高速化、シビアアクシデント解析コードとの結合を予定している。

\* Toshiharu Mitsuhashi<sup>1</sup>, Atsuo Takahashi<sup>1</sup>, Fumitomo Onishi<sup>1</sup>, Achihiro Hamano<sup>1</sup>, Hiroataka Hadachi<sup>1</sup>, Hideaki Koike<sup>1</sup>, and Masanori Naitoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AdvanceSoft Corporation