

最新の妥当性立証手法に基づく FBR 流動設計手法の検証方法の研究

研究代表者 笠間 貴寛 三菱重工業株式会社熱水力・炉構造技術課
 参画機関 三菱重工業株式会社、国立大学法人京都大学、国立大学法人大阪大学、
 一般財団法人電力中央研究所
 研究開発期間 平成21年度～24年度

1. 研究開発の背景とねらい

本事業では、設計経験の蓄積が少ない FBR 流動設計手法の検証に要する費用や期間を低減するために、最新の妥当性立証手法に基づいて FBR 流動設計手法の検証方法を構築する。背景として、「もんじゅ」流動設計手法の検証では計算結果を検証するために多数の模擬流動実験を実機規模で実施していたが、現時点では下記の技術の進歩がある。

- ・「もんじゅ」流動設計手法検証実施時に比べ、近年、計算機の性能が格段に向上しており、基本的な情報がそろえば実機条件の流動現象が計算により予測可能となっている。
- ・高温高流速状態でのナトリウム流動挙動について、近年では国内外での知見が蓄積されており、これらの知見を使用すれば今後の模擬流動実験を実施する範囲等を限定できる。

以上の進歩を踏まえると、知見が不足している部分のみを対象にした模擬流動実験を実施すれば FBR 流動設計手法を実機の設計に使用する妥当性を立証できる。

そこで、模擬流動実験の実施内容を適正化し、実験実施費用を適正に低減することを目的に、最新の妥当性立証手法に基づいて設計手法の検証を最小限かつ適正に行う方法を研究した。

最新の妥当性立証手法の一つに CSAU 手法 (Code Scaling, Applicability and Uncertainty evaluation method¹⁾) があり、下記のように妥当性立証上の着目点が充実している。

- ・流動設計手法の検証に有効な「解析コードによる感度解析」等の実施項目が備わっており、かつ、検証実施に適用できる具体的な作業手順の例が整備されている。
- ・設計手法に大きな影響を与える現象を客観的に特定する手段が備わっている。

本研究では、最新の妥当性立証手法の一つである CSAU 手法に基づいて、FBR 流動設計手法の検証方法を構築する。

2. 研究開発成果

平成 21 年度においては、FBR 流動設計の特徴を把握するために、「もんじゅ」流動設計手法の構築と検証のために実施された模擬流動実験に関する日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）の公開報告書を調査し、本研究で参照する既存実験結果のデータベースを作成した。平成 22 年度においては、最新の妥当性立証手法の実施内容を分析して FBR 流動設計手法を検証するための実施項目を抽出するとともに、最新の妥当性立証手法に適合した「もんじゅ」流動設計手法の検証方法の手順を作成した。平成 23 年度は平成 22 年度に作成した手順のうち、流動現象を表す計算式（以下「流動計算式」という。）を作成するための模擬流動実験を対象にした実験計画手順を作成した。また、作成した実験計画手順を適用して「燃料要素バンドル部の圧力損失測定を行う模擬流動実験」を計画し、実験計画手順の有効性を確認するとともに、具体的に実験計画を行う場合のノウハウを蓄積した。平成 24 年度は複数の流動計算式が組み込まれている解析モデルの妥当性を立証するための模擬流動実験を対象にした実験計画手順を作成するとともに、この実験計画手順を用いて原子炉容器内の温度分布等の物理量評価手法の検証を対象にした模擬流動実

験の計画を作成した。また、複数の流動計算式が組み込まれている解析モデルの計算結果が、その妥当性を立証するための実験結果に対して持つ誤差の要因を明らかにし、実機物理量評価値の誤差を計算する手順（以下「実機物理量誤差計算手順」という。）を作成した。さらに、平成 24 年度に作成した実験計画手順及び実機物理量誤差計算手順と平成 22 年度に作成した「もんじゅ」流動設計手法の検証方法の手順を組み合わせ、FBR 流動設計手法の検証方法を構築した。以下に本研究の成果の内容をまとめる。

(1) 既存実験結果のデータベースの作成

JAEA の公開報告書から、「もんじゅ」流動設計手法の構築と検証のために実施された模擬流動実験（全 38 種類）の実施内容をまとめ、既存実験結果のデータベースを作成した。

(2) 最新の妥当性立証手法に適合した「もんじゅ」流動設計手法の検証方法の手順の作成

最新の妥当性立証手法の実施内容を分析し、FBR 流動設計手法を検証するために必要な実施項目を下記のとおり抽出した。

・解析事象に対して重要な流動現象の同定

検証する FBR 流動設計手法に関して解析事象を選定した後、その解析事象に対する「重要度ランク表」(*1)を作成し、その解析事象で着目している物理量に対して重要な流動現象を同定する。

・着目すべき無次元数の同定

抽出した流動現象に関係する運動量保存則等の基礎式を選定し、この基礎式から着目する流動現象の物理的特徴を表す無次元数（以下「着目すべき無次元数」という。）を導出する。従来は経験に基づいて無次元数を選定していたが、最新の妥当性立証手法に基づけば重要な流動現象が抽出された後自動的に基礎式及び着目すべき無次元数が定まるため、着目すべき無次元数が客観的に同定される。

・流動計算式の適用性の評価

既存実験結果のデータベースを参照し、流動計算式の作成に用いられた模擬流動実験の実験条件等を確認し、その流動計算式を実機の設計に使用することの適用性を評価する。

*1 設計評価項目と、燃料要素バンドル部等の流動上の各基本単位で発生する流動現象を表形式で組み合わせ、評価結果への影響の大きさ等の観点でランク付けすることで、発生する流動現象の重要度を考慮して模擬流動実験での確認が必要な流動現象を抽出できる表作成の手法及び表の作成結果。PIRT (Phenomena Identification Ranking Table) とも称される。

次に、抽出した実施項目を踏まえて最新の妥当性立証手法に適合した FBR 流動設計手法の検証方法の手順を作成した。作成した手順の流れ図を図-1 に示す。

(3) 最新の妥当性立証手法に適合した実験計画手順の検討

最新の妥当性立証手法に基づき、実験計画手順を作成した。作成した実験計画手順に従い、流動計算式を作成するための模擬流動実験、及び複数の流動計算式が組み込まれている解析モデルの妥当性を立証するための模擬流動実験を計画し、妥当性を確認した。作成した実験計画手順を図-2 に示す。また、実験計画手順の主要な内容を以下に示す。

①無次元数を模擬できるスケール比の範囲を確認

着目すべき無次元数のすべてが実機を模擬できる実験装置のスケール比の範囲を

確認する。

②製作性及び計測装置組み込みを考慮したスケール比の範囲の確認

①で確認したスケール比の範囲内で、実験装置の製作性及び寸法公差、計測装置の据付性及び計測誤差を検討し、スケール比の範囲を絞り込む。

③実験誤差の影響の確認

計測誤差から実機条件における誤差を予測し、この誤差が設計計算において許容できるか確認し、スケール比の範囲を絞り込む。

④コストの確認

③までの検討により定まったスケール比の範囲に対して、実験装置の製作コストを検討し、スケール比を設定する。

⑤模擬されない無次元数の確認

①の結果を参照して、④で決定したスケール比の実験装置で実機の全ての無次元数を模擬しているか確認し、模擬されていない無次元数を明確にする。

⑥実験条件の設定

④までの検討により決定された実験装置のスケール比を用いて、実機の無次元数の範囲を包絡するための模擬流動実験の流量等の実施条件を設定する。

(4) 実機物理量誤差計算手順の作成

実機物理量評価値の誤差は測定値に含まれる計測誤差、流動計算式が持つ誤差等の要因から発生することを確認した。

これら誤差要因の大きさ及び相互作用を確認し、実機物理量評価値の誤差を計算する実機物理量誤差計算手順を作成した。

(5) 最新の妥当性立証手法に適合した FBR 流動設計手法の検証方法の検討

(2)の「もんじゅ」流動設計手法の検証方法、(3)の実験計画手順、及び(4)の実機物理量誤差計算手順を組み合わせ、最新の妥当性立証手法に適合した FBR 流動設計手法の検証方法を構築した。

3. 今後の展望

本研究の成果に基づいた流動設計手法の検証を今後とも継続して実施し、検証事例を増やすことで、本研究の成果の有効性を示していく。

4. 参考文献

- 1 N. Zuber, et al., "An integrated structure and scaling methodology for severe accident technical issue resolution: Development of methodology," Nuclear Engineering and Design 186(1998)1-21.
- 2 原子力学会標準、統計的安全評価の実施基準、2008

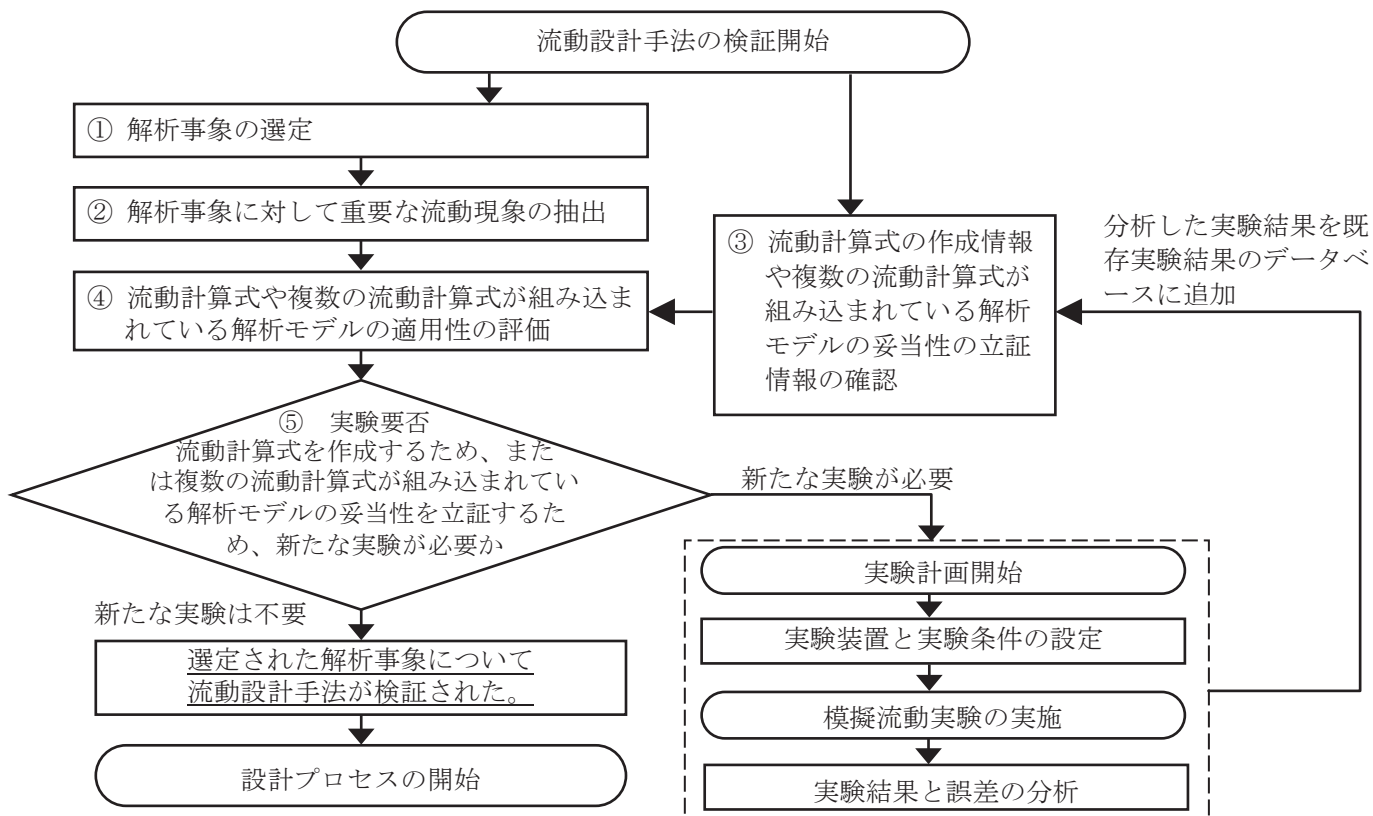


図-1 最新の妥当性立証手法に基づくFBR流動設計手法の検証方法の手順

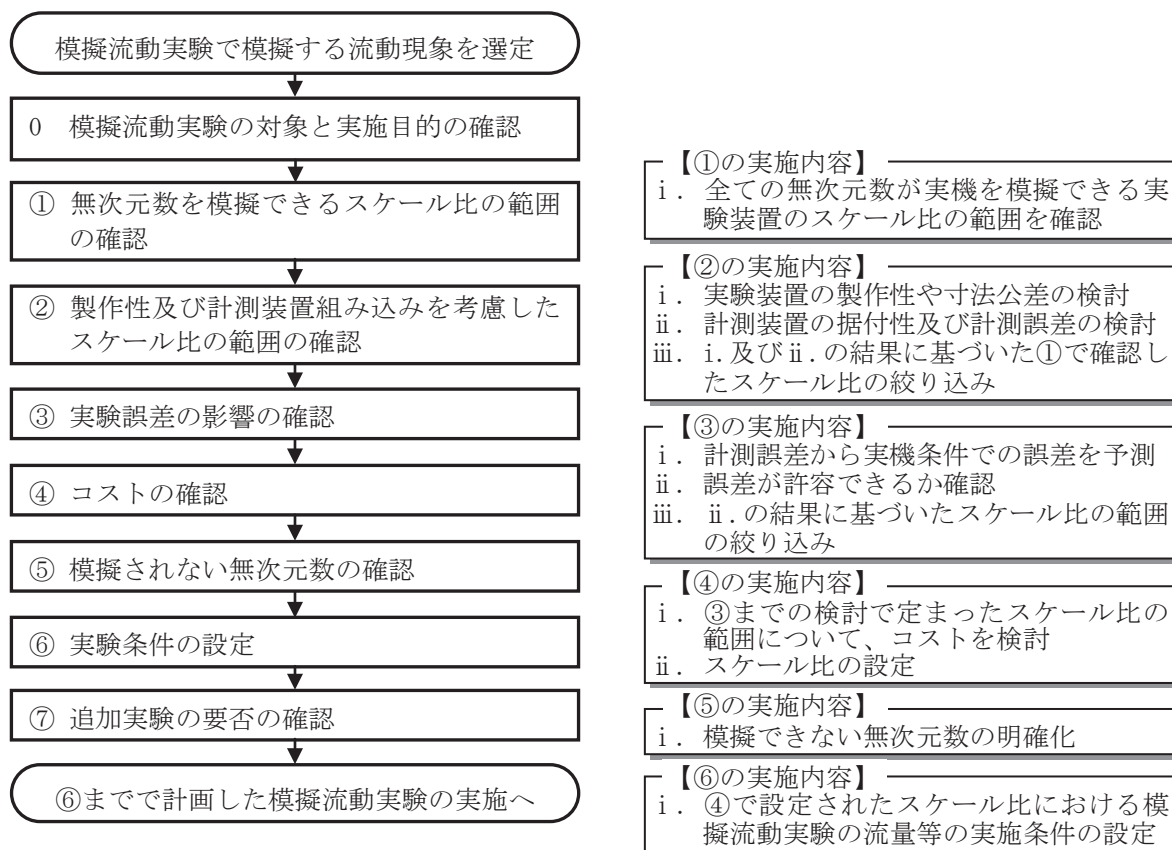


図-2 流動計算式を作成するための模擬流動実験の実験計画手順