

グローバル化のための国産コードに対する要望

(株) 東芝 吉岡研一

1. はじめに

プラント海外輸出に代表される日本の原子力技術のグローバル市場への展開のためには、ライセンスや海外規制対応が必要である。現在、炉心設計を含む解析コードの多くが米国技術に依存しており、国産コード化の必要性が高まっている。炉物理に関する解析としては、炉心解析の他、臨界安全や線源評価、遮蔽においても種々のコードが利用されている。ここでは、BWR設計を中心に、国産コードの現状と、特にJAEA等で開発されている公開の国産コードに対する要望をまとめた。

2. BWR設計におけるコードの現状

BWRの炉心設計においては、図1のように、核データラブラリから始まり、核データ処理コード、燃料集合体を扱う格子計算コード、炉心全体を扱う炉心解析コードとつながる。これはPWRでも同様であるが、BWR燃料集合体はウォーターギャップ、ウォーターロッド、ガドリニア入り燃料棒などの存在により非均質性がPWRより強い。また、BWRは炉心解析において沸騰二相流を扱う必要があるという特徴がある。

核データライブラリについては、炉心設計には米国の *ENDF/B* が利用されることが多い。核データ処理コードは米国技術である *NJOY* に依存している。

格子計算コード、炉心解析コードはメーカー独自開発コードが用いられる他に、*CASMO* (格子計算コード)、*SIMULATE* (炉心解析コード) なども利用されている。一方、公開のコードとしては、JAEAで開発された *SRAC* (格子計算コード)、*MOSRA-Light* (炉心解析コード) などが存在し、研究開発には多くの利用実績があるが、炉心設計には利用されていない。格子計算コードの参照解には米国の *MCNP* や JAEA の *MVP* 等の連続エネルギーモンテカルロコードが近年多用され、燃焼解析の参照解としても利用されている。

線源評価には米国の *ORIGEN* がよく利用される。臨界安全については、米国の *SCALE* がよく利用される。

また、遮蔽では *ANISN*、*DORT*、*TORT* などの米国原産の S_N 計算コードや上述の *MCNP* が利用されることが多い。

図2に国産コードの現状をまとめた。上記のような背景の下、公開国産コードに対する要望を検討した。

3. 国産コードに対する要望

3.1 核データライブラリ

核データライブラリについては、国産の *JENDL* が存在し、国産化に対する問題はない。遮蔽では、設計にも利用されるなど、利用対象は広がってきている。

3. 2 核データ処理コード

核データ処理コードは上述のように、現状 *NJOY* しか選択肢がなく、国産化が強く望まれ、現在 *JAEA* を中心に開発が進められている。*NJOY* には、ユーザーが自由に *MCNP* 等のライブラリを作成する機能がある。現状、*MVP* ではユーザーがライブラリを作ることはできず、核データ処理コードの国産化に関しては、*MVP* や *SRAC* との主要な公開コードとの連携が利用者の利便性の立場から重要と考えられる。また、熱散乱カーネル $S(\alpha, \beta)$ の作成や、*ANISN* など利用可能な *MATXS* 形式のライブラリを作る *TRANSX* コード相当の機能も必要である。また、共分散データを取り扱える *NJOY* における *ERRORJ* のような機能も望まれる。

3. 3 格子計算コード

格子計算コードは、既に国産化されているが、メーカーコードは非公開であり、大学等では利用できないため、公開コードである *SRAC* の需要は高い。

BWR はウォーターギャップや濃縮度分布、ウォーターロッド、ガドリニアの隣接配置などにより非均質性が強く、解析精度を保つために格子計算においても、様々な工夫が必要である。一方、設計計算においては、精度とともに速度が要求され、メーカーでは高速な設計コードの開発が行われている。

燃焼モンテカルロコードは解析に多大な時間がかかり、また、統計精度のばらつきから、感度解析などには適さない。そのため、*SRAC* などの決定論解析コードが有効であるが、上記 *BWR* の非均質性の高い集合体の燃焼解析に関しては、十分でない。*BWR* 集合体燃焼が可能な決定論的手法による国産の参照コードの開発が望まれる。

米国の許認可コードシステム *SCALE* には、2次元集合体燃焼が可能な *TRITON* コードなどが存在する。国産の公開コードは、メーカーコードと区別し、参照解の提供や汎用性の高いシステムが望まれる。

3. 4 炉心解析コード

炉心解析コードについても格子計算コードと同様に非公開のメーカーコードは国産化されている。公開コードとしては、*JAEA* の *MOSRA-Light* があるが、*BWR* の沸騰二相流を伴う核熱水力と取り扱える参照コードはない。沸騰二相流を伴う核熱水力部分については、実験に基づく相関式の依存がまだ多く、数値流体解析による参照解を与えることが可能な参照コードは潜在的要望があると考えられる。米国では、熱水力も含めた統合解析システムとしての *CASL* プログラムの開発が行われている。

3. 5 臨界安全

臨界安全分野では、*JAEA* で *JACS* システムがかつて作成されたが、現在は米国の許認可コードシステムである *SCALE* が利用されることが多い。一方、代替となる国産コードも

存在し、*SRAC*や*MVP/GMVP*を使用すれば、*SCALE*と同等の解析は可能である。

3. 6 遮蔽

遮蔽では *ANISN*、*DORT*、*TORT* など米国の S_N 計算コードや上述の *MCNP* が利用されることが多い。国産化の観点からは、*MCNP* の代替となる *MVP* が存在するが、 S_N 計算コードについては、国内に同等の公開コードは見当たらない。*MVP* には多群解析が可能なバージョンの *GMVP* が存在し、共通のライブラリが使用できる決定論コードは有効と考えられる。

3. 7 線源評価

線源評価としては *ORIGEN* が使用されることが多い。JAEA で開発された *D-Chain* コード等も、崩壊熱評価など *ORIGEN* の機能を取り込み拡充することで代替国産コード開発が可能と考えられる。

3. 8 その他

SCALE に含まれる感度解析ツール *TSUNAMI* は、臨界実験解析などに有効である。国内でも *SAGEP* 等の高速炉分野での感度解析ツールはあるが、軽水炉の非均質性の高い 2 次元集合体に関する感度解析ツールは不足しており、これらのツールは利用価値が高いと考えられる。さらに、*MCNP6.1* では、感度解析機能が追加され、次期バージョンに向け共分散ライブラリの取り扱い機能の整備なども検討されており、*MVP* にも同様な機能が追加されることが望まれる。

国産コード開発ではないが、*SCALE* ライブラリで利用可能な *JENDL* の共分散ファイルの開発も利用価値が高いと考えられる。ライブラリ間のコンバージョンが容易にできれば、*SCALE* システムと国産コードシステム間でライブラリを共用でき、より利用価値が高まると考えられる。

中性子、ガンマ線だけでなく重粒子など多種の粒子の輸送が扱える連続エネルギーモンテカルロコード *PHITS* は世界的にも評価が高く、今後需要が高くなると考えられ、*MVP* と連携した開発が期待される。

4. まとめ

公開の国産コードへの要望を検討した。核データ処理コード *NJOY* は他に代替がなく、国産化が必要と考えられる。一方、*SRAC* のような公開の格子計算コードは参照解析としての価値が高く、連携する感度解析ツールとともに機能向上が望まれる。連続エネルギーモンテカルロコード *MVP* は *MCNP* の代替となりうる強力なコードであり、今後開発維持継続が望まれる。一方、線源評価や S_N 計算コード、ライブラリコンバージョンツールなども、今後期待される。

海外規制に対応するためには、V&V、QC/QAが特に重要である。コードを開発するだけでなく、その維持管理も含めた管理体制の構築が重要である。

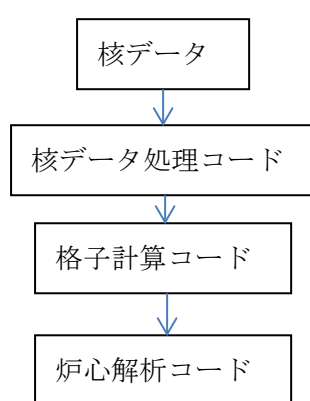


図1 炉心設計の流れ

	現状、設計に利用されているコード	国産コード
核データ処理コード	<i>NJOY</i>	なし
格子計算コード	メーカーコード、 <i>CASMO</i> 等	メーカーコード、 <i>SRAC</i>
炉心解析コード	メーカーコード、 <i>SIMULATE</i> 等	メーカーコード、 <i>MOSRA-Light</i>
線源評価	<i>ORIGEN</i>	<i>D-Chain</i> 等
臨界安全	<i>SCALE</i>	<i>MVP</i>
遮蔽	<i>MCNP</i> 、 <i>ANISN</i> 、 <i>DORT</i> 、 <i>TORT</i>	<i>MVP</i> 、 <i>PHITS</i>
感度解析	<i>TSUNAMI</i> 、 <i>SAGEP</i>	<i>SAGEP</i>

図2 国産コードの現状

本記事に掲載の商品の名称は、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。