

原子力標準ソフトウェア開発グループの設置について

Formation of Research Group for Standard Nuclear Engineering Software Development

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門
核工学・炉工学ユニット

岡嶋 成晃

原子力標準ソフトウェア開発グループ

坂本 幸夫

要旨

これまでの原子力基礎工学研究部門環境・放射線工学ユニットの「放射線工学研究グループ」が廃止され、「原子力標準ソフトウェア開発グループ」が平成23年4月に設置された。新しいグループは、原子力基礎工学研究部門の核工学・炉工学ユニットに属する。ここでは、新グループ設置の経緯と目的・ミッション等について紹介する。

1. はじめに

計算シミュレーション技術は、現在も将来も、施設設計、性能評価、運転計画、安全解析等、様々な局面で利用される原子力事業の基幹技術である。これまで日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」と記す。）は、平成17年の統合前も含めて、様々な計算コード群や計算に必要なデータベースを開発整備してきた。その代表的な成果物として、評価済み核データライブラリー（JENDL）を挙げることができる。JENDLは、1970年代はじめに、国産の高速炉用核データライブラリーとして開発が開始された。その後、軽水炉利用、核融合、医療等へと多目的に利用に供されるために、核種数、反応数、エネルギー範囲が拡張されてきた。第1期中期計画の終了である平成21年度末には、 $10^{-5}\text{eV}\sim 20\text{MeV}$ までのエネルギー範囲で、406核種の中性子入射反応データ、354の γ 線データを収録し、昨今の不確かさ解析へ対応できるように、95の共分散データも収納するJENDL-4を完成

した。このJENDL-4の69核種のデータは、米国の核データライブラリー ENDF/B-VII.1 に採用される予定と聞いている。このように、世界における核データ開発整備の一翼を担っている。しかし、我が国における使用実績に目を転ずれば、研究開発分野における利用はあるものの、商業分野（特に、許認可）において、その認知度が低く、外国の核データライブラリーが多数使用されているのが実状である。計算コード群で見ると、たとえば、連続エネルギー法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコードMVPは、核特性の解析において国内で多数の利用実績があり、決定論的手法による計算コードの参照解を与える計算コードとして利用されているが、類似の米国製のMCNPの利用実績も高く、ほぼ同程度だと言える。しかし、核特性以外の分野では、MCNPの利用が断然多いのが実状である。他の計算コード群では、言わずもがなである。

この原因としては、以下のようなことを挙

げることができる。

- ・これまで我が国では、計算コードやデータベースの開発整備に重点が置かれていたが、成果物の普及すなわち利用への関心は、開発整備に比べるとその重要性が軽んじられる傾向にあった。
- ・開発された計算コードを、組織的に維持・改良し、ユーザーニーズに応える意識が薄く、開発者のみによって維持管理される傾向が強かった。そのため、開発者が退職した場合等では、その維持管理が終了するとともに、次の担当者へ知識やノウハウの継承が十分に行われてこなかった。
- ・原子力発電事業分野において、長年にわたり使用実績のある米国ソフトウェアの利用が主流であり、規制行政においても、既存の米国ソフトウェアで安全が担保されるかどうかを確認する実験的検証が委託事業の主体となっていることから、米国ソフトウェアを使用せざるを得ない。

特に、第3番目の項目に関しては、昨年来、米国は知的財産権の確保や核不拡散を目的に主要な原子力ソフトウェアの利用規制を強めるなどの状況になり、原子力事業の推進に必要な基幹技術を米国に依存し続けることは、日本国内における今後の原子力事業の推進と国際展開への制約につながる可能性があると考えられる。そこで、米国ソフトウェアへの依存から脱却するため、これまで主に研究開発分野で利用されてきた国産ソフトウェアを基盤にする原子力ソフトウェアの開発が重要と考えられ、上記の1番目及び2番目の項目への対応が重要である。

2. 新グループの立上げとその目的

このような状況を踏まえ、計算コード等の普及と開発を積極的に展開することをグループの目的とした。ただし、普及及び開発する計算コード等については、原子力開発におい

てニーズの高い国産計算コード等を対象とする。それらを、標準ソフトウェアとする。現在、考えられる標準ソフトウェアを、表1に示す。当面は、JENDLの普及、バックエンド分野の計算コードの開発、PHITSの高度化を対象とする。特に、JENDLの普及については、昨年度、様々な機会でのニーズを尋ねたところ、核データ処理コードの整備が多数希望されている。そこで、この開発に着手しようと考えている。

さらに、フロントエンドからバックエンドまで様々な軽水炉サイクルシステムの改良、特に今後、輸送・中間貯蔵・再処理・廃止措置等、日本で顕在化する課題に取り組む中核としての役割を果たし、より効率的な設計・運転や安全評価や安全裕度の適正評価に資するソフトウェア開発を実施する。また、ソフトウェア利用では、その性能保証が不可欠であることから、部門内の様々な研究グループやJAEA内の実験施設の整備や測定器・測定法の開発への橋渡しの役割を果たそうと考えている。

最後に、このグループを中心に、部門内の様々な研究グループ等とともに、産学官共通の基盤技術としての国産計算コードの開発を進めて、米国のソフトウェア利用規制に対抗するとともに、日本の原子力ソフトウェア技術の低下、ソフトウェア開発人材の不足が顕在化を避けていきたいと考えている。

3. PHITSとMVPの統合

MCNP/MCNPXコードシステムの配布停止を契機に提起された国産放射線挙動シミュレーション計算コードシステム開発の必要性から、PHITSとMVP統合のコンセプトが出された。日本原子力学会誌にその経緯を解説している¹⁴⁾、下記にその抜粋を示す。

1) 国内でのMCNP/MCNPXコードシステムの使われ方と配布停止の影響

MCNPコード²⁾は、米国ロスアラモス国立

表1 米国等のソフトウェアと開発対象の計算コード／データベースとの比較

| 米国等のソフトウェア | 国産の計算コード/データベース (名称) | 用途 | 国産ソフトウェアの優れた点 | 米国等のソフトウェアの優位性 取入れに必要な改良 | 備考 |
|---------------------------------------|--|--|--|---|--|
| ENDF/B-VII ¹⁾ | 評価済み核データライブラリー (JENDL-46 ⁹⁾) | 原子力コードの基礎データとなる核反応断面積ライブラリー | <ul style="list-style-type: none"> 世界最先端の核データとして外部提供中 世界に先駆けた核データの誤差を示す共分散データを格納 (ENDF、JEFF等も一部採用予定) 共分散データによる不確かさ評価が可能 | JENDL-4を利用する断面積ライブラリー作成コードの開発・整備 (米国製NJOYコード相当品) | <ul style="list-style-type: none"> 断面積ライブラリー作成コードの開発は、世界情勢の見極めの必要あり 共分散データの充実 (核種・反応) 崩壊熱等に関するV&V作業 |
| MCNPX ²⁾ | 重イオン・粒子輸送計算コード (PHITS ^{10, 11)}) | 遮蔽設計、放射線治療装置開発、被ばく線量評価等に用いられる汎用性の高い計算コード | <ul style="list-style-type: none"> 重イオン輸送挙動、核データを用いる20MeV以下の中性子による粒子間の相関が取れた二次粒子生成シミュレーションに優れている。 | <ul style="list-style-type: none"> MCNP/MCNPXは一本化の方向 PHITSとMVPを統合したSuper PHITSの構築ができれば、同等のものが開発可能 | <ul style="list-style-type: none"> PHITSとMVPの一本化により、遮蔽、核燃料サイクルのバックエンド、医療照射にも適用可能な総合コードとなり、解析作業効率の飛躍的向上を期待 統合後、V&V作業が必要 |
| MCNP ²⁾ | 汎用中性子・光子輸送モンテカルロコード (MVP ¹²⁾) | 原子炉の核特性・遮蔽計算、核燃料取り扱い施設の臨界安全解析等に用いられる計算コード | <ul style="list-style-type: none"> MCNP同等の機能の他、実機原子炉解析で重要な室温以上の任意温度体系を正確に取り扱うことができ、燃焼計算機能も有する。 | | |
| CASMO/SIMULATE ³⁾ (スウェーデン) | 炉心解析コードシステム (MOSRA1 ³⁾) | 核データベンチマーク解析、炉心実験解析、新型炉核設計等の多用途に対応できる計算コード | <ul style="list-style-type: none"> 多次元の核熱結合炉心燃焼計算及び中性子輸送・拡散計算、3次元感度解析等、従来コードでは実現できなかった広範囲な解析を可能としている。 | <ul style="list-style-type: none"> MOSRA自身は過渡解析ができないため、炉心熱水力解析部分の充実が必要。 集合体4体を対象としたセル計算機能の追加が必要 | <ul style="list-style-type: none"> 開発する技術者の確保が急務 |
| ORIGEN24 ³⁾ | 燃焼計算コード (MOSRA-BACON ¹⁰⁾) | 800~1,000核種程度の核種生成崩壊計算が可能 | <ul style="list-style-type: none"> 機能はORIGEN2と同等であるが、最新の核データや崩壊定数を使用 MA核種追加等の機能拡張が容易 | <ul style="list-style-type: none"> γ線スペクトル、γ線による発熱、(α, n) 反応等を充実するための開発が必要 | |
| SCALE ⁵⁾ | なし | 臨界安全計算コードシステムKENO (モンテカルロコード)、Sn (決定論的輸送コード)、ORIGEN-S等からなるコードシステムで核種生成崩壊計算から遮蔽計算までの許認可関連用途の計算をこなす。 | なし | <ul style="list-style-type: none"> Super PHITSやMOSRA-BACON等の組み合わせで相当システムの開発が可能 | <ul style="list-style-type: none"> JAEAにはSCALEに相当するコードは存在しない。 上述のコードを組合せることで、同等の機能を有することが可能 特に、Super PHITS構築後は、voxel概念の導入より、SCALEのSn計算機能より性能が向上する |

研究所LANLが30年以上に亘り開発している中性子、光子、電子及びこれらの粒子の連結に係わる輸送を取り扱う汎用のモンテカルロ輸送計算コードシステムであり、一方MCNPXコード²⁾は、MCNP-4Bコードと高エ

ネルギー粒子輸送計算コードLAHETコードを統合した多種類の粒子・放射線の輸送を取り扱う汎用のモンテカルロ輸送計算コードシステムであり、何れも別個の開発プロジェクトチームが組織されている。

表2 国内でのMCNPコードの使用事例

| | MCNP使用事例 | MCNPのシステム組込み例 |
|-------|---|---|
| JAEA内 | 各種実験解析 【NUCEF、FNS等】 ・照射場・照射量評価【JMTR照射炉試験センター、「常陽」高速実験炉部】 ・ITER核解析(CAD/MCNP変換ツール開発)、IFMIF設計【核融合研究開発部門】 | ・ホウ素中性子捕捉療法BNCT線量評価システムJCDS*【研究炉技術課】 ・中性子発生ターゲット・校正場解析コードMCNP-ANT*【放射線計測技術課】 |
| JAEA外 | ・ 各種実験解析 (炉心解析・臨界安全解析) ・核燃料施設遮蔽・臨界安全クロスチェック【MCNP5/JNES】 (遮蔽解析) ・金属キャスク貯蔵方式中間貯蔵施設設計／ベンチマーク解析【電力各社／東大】 ・リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業遮蔽クロスチェック【JNES】 ・コンクリートキャスク遮蔽許認可解析【三井造船】 | (燃焼度クレジット) ・モンテカルロ燃焼計算コードMONTEBURNS2 軽水炉燃料燃焼解析【GNF-J】 ・モンテカルロ法使用済み燃料組成評価コードMCNP-BURN2【東芝】 (バックエンド解析) ・放射化放射能評価システムCOSMARD【(財)原子力研究バックエンド推進センター RANDEC】 |

*MCNPコードはユーザーが別途入手・インストール

MCNP/MCNPXコードシステムは、原子力施設等の核・臨界計算、遮蔽計算のみならず、医療や工業分野での放射線利用において広く世界的に放射線（中性子、陽子、光子、電子等）の輸送計算ツールとして用いられている。国内でも表2に示すように、JAEAの内外で各種の実験解析や設計計算に使われている他、これらを組み込んだホウ素中性子捕捉療法BNCT線量評価システムJCDS、燃焼計算コードシステムSWAT3.1、Ge半導体検出器効率校正用コードCREPT-MCNP1.1、放射化放射能評価システムCOSMARD、使用済燃料組成評価コードMCNP-BURN2等が開発されている。これらのユーザーは、MCNPコードを別途入手し、インストールすることになる。

平成21年4月、米国オークリッジ国立研究所ORNLの放射線安全情報計算センターRSICCが、MCNP/MCNPXコードシステム配布の停止を米国内、並びに経済協力開発機構OECD/原子力機関NEAデータバンク及び日本国内では財団法人高度情報科学技術研究機構RISTを通じて世界中の関係者に通知し、新たな指示があるまでMCNP/MCNPXコードシステム及びそれを含む一切の計算コ

ードの配布が停止される状況となった。これは、米国政府の商務省DOCの輸出規制に関する条項の見直しに関連して、エネルギー省DOEがRSICCに指示したものであり、知的財産権の保護あるいは核不拡散に関したものと推察されている。その後6月になってRSICCでは、ソースプログラムを含む版と、ソースプログラムを含まない実行形式版の2種類を用意し、米国国籍を有しないユーザーには実行形式版の取得を勧めるとともに、ソースを含む版の取得には長期の審査が必要となることをアナウンスしている。翌平成22年1月にRSICCとRISTとの協定の見直しが行われ、実効形式版の配布を再開し、ソースを含む版の取得には直接RSICCに請求することになっている。このように、国内において新規ユーザーも一切MCNP/MCNPXコードシステムにアクセス出来るようになったが、今後これらを組み込んだ計算コードの開発が事実上できなくなった。

2) 国産コード開発の必要性

核データについても過去に米国がENDF/B-Vライブラリーを非公開にしたため、同様の状況に陥ったこともある。今後

も、国内の原子力施設及び放射線関連施設での放射線利用及び安全評価、また最先端の研究開発課題に対して、外国の計算コードと核データに全面的に依存する体質は致命的な結果をもたらす可能性があり、さらには国際技術の輸出の道を閉ざすことにもなりかねない。

これらの状況の打破には国産コード及びデータの開発・整備が必須である。JAEAには、既に何年にも渡り開発を行ってきた原子炉計算に適用できるMVPコード、広いエネルギー範囲の多種類の放射線の挙動解析を行うPHITSコード及び核データとしてJENDLがあり、これらを有機的に連携することがその早道と考えた。

3) MVPコードの開発状況

MVPコード¹²⁾は、JAEAが高速・高精度な炉心計算を目的としてスクラッチ開発（一から独自に開発）した中性子・光子輸送計算モ

ンテカルロコードで、計算対象としているエネルギー領域は、中性子が0.05meV～20MeV、光子が1keV～100MeVである。国内の大学・産業界における炉心解析の分野で幅広く用いられているが、遮蔽分野における利用は少ない。

その特徴は下記の通りである。

①ベクトル化されたアルゴリズム

前述のMCNPコードは、一つの粒子の起こす事象を逐次追跡し、そのヒストリーが終わった時に次の新しい粒子の追跡を始めるという「ヒストリー駆動型アルゴリズム」を採用している。MVPコードは、多数の粒子を同時に追跡し、それらの粒子に対する生成、飛行、衝突といった事象単位で一括して処理する「事象駆動型アルゴリズム」を採用し、ベクトル型計算機による高速処理に適するようになっている。

②幾何形状表現及び確率論的幾何形状モデル

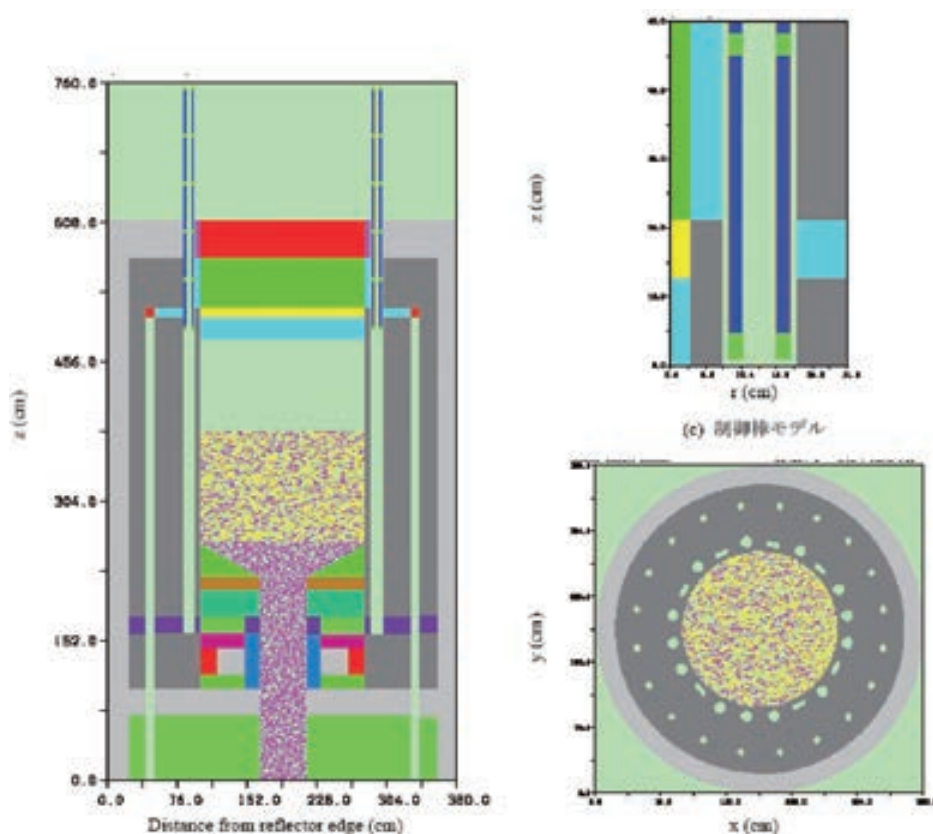


図1 MVPコードの確率論的幾何形状モデルの例（ペブルベッド型ガス冷却炉HTR-10の解析）

幾何形状の表現法として、直方体や球などの基本形状を組み合わせて計算体系を構築する「組合せ形状表現法」(Combinatorial Geometry) とともに、四方格子及び六方格子による「多重格子表現の機能」を有しており、燃料ピンセル等の繰り返し形状を容易に表現できる。さらにこれを拡張した確率論的幾何形状モデルを用いることで、高温ガス炉で用いられる被覆粒子燃料やペブル球のランダムな配置(二重非均質性)を考慮することができる。(図1参照)

③任意温度連続エネルギーモンテカルロ計算及び燃焼計算

温度依存の計算が、入力データでの物質温度指定だけで、温度に対応した断面積データが生成され、可能となっている。また、ソースパッケージに燃焼計算モジュールが含まれており、連続エネルギー法による燃焼計算(MVP-BURN)が可能である。

今後、MVPコードをMCNPの代替計算コードにするには、遮蔽計算の分野で有効なメッシュタリー、自動分散低減のためのパラメータ設定等の機能を追加していく必要がある。また、ベクトル計算機が開発されなくなった現在、事象駆動型アルゴリズムによるベクトル化のメリットはない。ソースコードの保守性の観点からヒストリー駆動型アルゴリズムのスカラ型にリファクタリングするか、これまでのノウハウを抽出しPHITSコードと統合しやすいモジュール型の新たなモンテカルロ計算コードを開発するのが望ましい。

4) PHITSコードの開発状況

PHITSコード^{10, 11)}の開発状況は、JAEA原子力基礎工学研究部門放射線防護研究グループの佐藤達彦氏によりRISTニュースの同じ号に詳しく述べられているので、それ以外の特徴を以下に示す。

幾何形状としては、「組合せ形状表現法」と

境界面で表現する「一般化形状表現法」(General Geometry)が利用できる他、微小立方体で体系を表現するvoxelも適用できる。

PHITSコードの出力は、着目している位置若しくは領域での粒子・重イオン別のエネルギースペクトル、核発熱、放射線損傷、生成核、線エネルギー付与LET分布であり、これらの結果を体系情報とともに、図示化することができる。また、PHITS計算は、並列計算機にも対応している。

利用分野は、加速器分野、医学利用、宇宙工学の多岐にわたるが、医学分野でのユーザーの増加が目覚ましい。

今後の展開としては、物理モデル及びデータの高度化とともに、100GeVを超える粒子や各種重イオンが関与する実験データの取得による精度検証等が期待されている。JAEA内のPHITSコードの開発体制では、物理モデル等の高度化については放射線防護研究グループが主に担当し、コードの普及や精度評価については当グループが主に担当する。また、PHITSコードの高度化については、今まで通りJAEA、RIST及びKEKが共同で進めるとともに、核反応モデルの改良については九州大学及びスウェーデン・チャルマース工科大との協力も得る。

5) 核データJENDL-4の現状

原子炉設計や安全評価に係る核・臨界計算、放射線遮蔽計算、放射線挙動解析では、核燃料や放射性核種を含む体系内での中性子や光子(ガンマ線)の挙動を記述するため、核反応断面積等の核データが不可欠である。このデータの基本は測定データであるが、理論計算がその完備性を保証し、さらに統計的手法を用いて利用に耐えうる核データとされるのが評価済核データである。以下に、JENDLデータの特徴等を下記に示す。

①JENDL作成の目的及び体制

日本独自の評価済核データJENDLの開発は、1970年代の高速炉開発に伴い、炉心設計には素性の判明した評価済核データが必要との声から始まった。その後、軽水炉、核燃料サイクル等にも応用範囲を広げ、最新のJENDL-4⁶⁻⁹⁾では、高速炉でのMA（マイナーアクチノイド）燃焼、加速器駆動炉の開発等に伴い、MAやLLFP（長寿命核分裂生成物）の核データの充実や信頼性向上、さらに近年の感度解析技術の進展による共分散データの充実を図っている。その開発には、JAEAのシグマ委員会の下、大学、産業界の協力を得ている。

②JENDL-3及び外国の評価済核データのの違い

以前に公開されているJENDL-3.3は、現行軽水炉や高速炉等においては臨界性評価等で要求される性能はほぼ達成していると考えられているが、軽水炉燃料の高燃焼度化や革新炉の開発等においては重要となるMA核種のデータの種類の充実が求められている。このためアクチノイド核種数の増加、積分テストとの緊密な連携により評価精度の向上を図られた。

③核・臨界計算及び遮蔽計算に用いるための処理並びに必要なデータ

評価済核データを、核計算等で利用するには、NJOY¹⁵⁾で代表される断面積処理コードで各計算コードに合わせた核定数（炉定数）にしなければならない。約390核種の核反応データが収納されるJENDL-4では、通常の核・臨界計算等で必要とされる核種以外に、今後の軽水炉の高燃焼度化、廃棄物処理、革新炉開発等では従来注目されていなかった核種、例えばハフニウム（Hf）制御棒の放射化で着目される天然ハフニウム中に35.1%含まれるHf-180から $^{180}\text{Hf}(n, \gamma)$ $^{181}\text{Hf}(n, \gamma)$ ^{182}Hf の反応で生じる半減期900万年のHf-182の生成断面積も考慮している。また、中性子核反応データのみならず、崩壊デー

タ、FPのガンマ線スペクトルデータ、光子の断面積データを評価している。これらは、特殊目的ファイルとして用意されている。

核データは、原子力利用等の応用工学分野や宇宙物理等の基礎科学分野における基盤データとしてだけでなく、今後加速器での医療照射、放射線による材料損傷、加速器駆動炉開発、宇宙線による半導体エラー評価等においても核データの利用分野が増大することが予想されるとともに、核設計等における評価済核データの処理等も含めた炉物理の連携の強化が必要となり、それに対応する体制の整備も重要な要素になる。

6) 統合化とネットワーク構築

①国産放射線挙動シミュレーションコードシステムのコンセプト

MVPコードでは、中性子・光子の遮蔽計算への利用指向が強く、PHITSコードにおける低エネルギーの中性子・光子の挙動・遮蔽計算部分と重複する。また、原子炉施設や核燃料サイクル施設等での安全性評価では、核・臨界計算と遮蔽計算を連続して行う必要があり、一つの計算コードシステムで行うことがユーザーにとっては大変便利である。今後、外国産の計算コードに依存することなく、断面積データとしてJENDL-4及びその高エネルギーファイルを利用し、国内での研究資源を有効に活用し、両計算コードの利点を最大限利用するために計算コードの統合を開始した。図2にその提供分野を示す。

②コード開発にあたって

国内で開発された計算コードやデータライブラリーは、その入手が困難であったり、マニュアル整備等が不十分で導入したものに比べて使いにくいとの指摘があった。本開発は、外国の導入コードの代替国産計算コードシステムを目指したもので、開発機関にとどまらず、国内の原子力及び放射線利用に関す

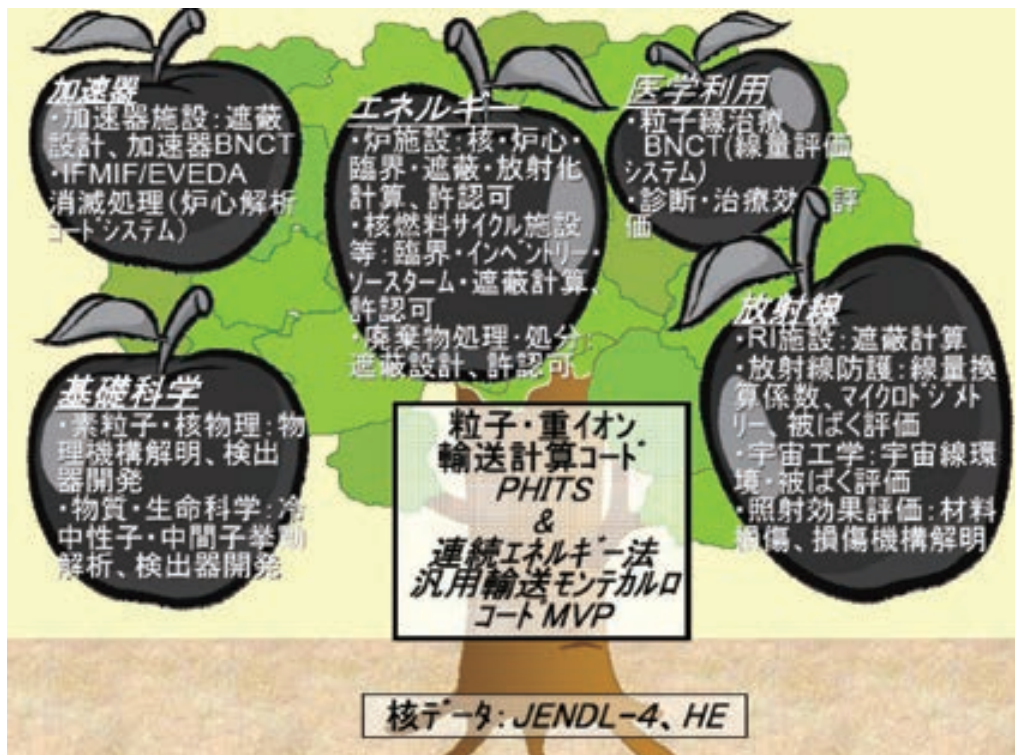


図2 統合計算コードの適用分野

る産官学の機関での使用を念頭に置く必要がある。そこで、計算コード等の公開に当たっては、分かりやすいマニュアルの整備、サンプル問題に対する入力データの充実、ユーザーからの問い合わせへの対応体制の整備を図るとともに、その普及に当たっては、講習会及びユーザー研究会を積極的に開催するとともに、ホームページを充実する。

③協力体制

PHITS-MVPの統合コードに関して、高エネルギー放射線や重イオンビームによる物質との相互作用に関する実証は、国内外の研究機関との協力により新たに実測データを入手するなどして進める。一方、許認可申請に用いるためには、計算コードの精度検証を済ませて置く必要があり、原子力学会の放射線遮蔽研究専門委員会等との協力下に遮蔽ベンチマーク解析を進める。さらに、ユーザーとのネットワークを構築し、バグ情報や改訂情報の共有化を図るとともに、プログラムへの問合せに対する対応・要望等の把握に努めたい。

④今後の展望

現在のMVPコードでは、20MeV以上の高エネルギー領域や中性子・光子以外の粒子を取り扱うことができないので、PHITSコードとの統合により、加速器駆動核変換システム(ADS)や加速器駆動未臨界炉等の先進的原子力システムの核・臨界計算から遮蔽計算までを一貫して取り扱うことができるようになる。

また、PHITSコードは、医療分野におけるマイクロドジメトリー的な被ばく評価、材料の微視的アプローチによる放射線損傷評価、宇宙線に起因する大気中性子場評価等の他分野との連携したマルチスケールの放射線挙動解析への展望が考えられる。

7) その他の計算コード・データの標準化

①モンテカル計算コード以外の標準化

今後、原子力施設の廃止措置、廃棄物の処理・処分等において、遮蔽計算の増加が見込まれる。前述のPHITS-MVP統合のモンテカ

ル計算コードは、施設の最終的なレイアウト等が決定後は有益であるが、遮蔽厚等のパラメータサーベイ等に頻繁に使われるとは思えない。これらの計算に対しては決定論的手法であるSN輸送計算コード若しくは遮蔽計算定数を利用する簡易計算法が使用されるであろう。そこで、前述のPHITS-MVPコードと基礎データを同じくする断面積データ、線源強度データ、幾何形状データの共通化を図ることも大変重要である。幾何形状への表現は現状では幾つかあるが、究極的にはボクセルデータで統一することを考える。そうすることにより、不定形の物質に対しても遮蔽計算等が可能となる。

②ICRP2007年勧告に沿った線量換算係数を反映した遮蔽計算定数の整備

国際放射線防護委員会ICRPは、2007年に新しい勧告¹⁶⁾を公開するとともに、新しい人体形状モデル(ファントム)¹⁷⁾を提案し、これらを放射線挙動解析コードに組み込んで中性子及びガンマ線等の外部放射線に対する線量換算係数データをJAEA等で評価が行われている。¹⁸⁾数年のうちに新しい線量換算係数はICRPから公開され、国内では「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」への新勧告の導入の後には、その数値が使用されることになる。

遮蔽計算において評価点でのスペクトルを算出するモンテカルロ計算コード及びSN計算コードでは、得られたスペクトルに線量換算係数を乗ずることにより、線量率を算出することができる。一方、「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル」¹⁹⁾では、RI線源に対してスペクトル計算をすることなく、遮蔽体中での線量の透過率データ等を利用して線量率を算出する方法を示している。単色ガンマ線、RIガンマ線、 β 崩壊核種からの制動X線、中性子線源の各遮蔽体に対するこの種のデータは、線量率に依存するので、線量換算係数の更新に伴い、データの更新が必要とな

る。今までのマニュアルに掲載されているデータの多くは、旧原研が整備したものであり、新しいデータの整備についてもJAEAに期待されており、新しいグループのミッションの一つである。

参考資料

- 1) M. B. Chadwick, et al., "ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology," Nucl. Data Sheets, 107, 2931 (2006).
- 2) RSICC CODE PACKAGE CCC-740, "MCNP5/MCNPX: Monte Carlo N-Particle Transport Code System Including MCNP5 1.51 and MCNPX 2.6.0 and Data Libraries."
- 3) M. Edenius, et al., "New Data and Methods for CASMO and SIMULATE", Proc. of Topical Meeting on Reactor Physics and Safety, 2, p.1115, Saratoga (1986).
- 4) RSICC COMPUTER CODE CCC-371, ORIGEN2 V2.2: Isotope Generation and Depletion Code — Matrix Exponential Method.
- 5) RSICC CODE PACKAGE CCC-750, SCALE 6: Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation Modular Code System for Workstations and Personal Computers, Including ORIGEN-ARP.
- 6) K. Shibata, et al., "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering," J. Nucl. Sci. Technol. 48(1), 1-30 (2011).
- 7) K. Shibata, et al., "JENDL-4.0: A New Library for Innovative Nuclear Energy Systems," Proceedings of the International Conference on Nuclear

- Data for Science and Technology, April 26-30, 2010, Jeju Island, Korea (ND2010).
- 8) O. Iwamoto, et al, "Covariance Evaluation for Actinide Nuclear Data in JENDL-4," Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 26-30, 2010, Jeju Island, Korea (ND2010).
 - 9) G. Chiba, et al., "JENDL - 4.0 Benchmarking for Fission Reactor Applications," J. Nucl. Sci. Technol., 48(2), 172-187 (2011).
 - 10) H. Iwase, et al., "Development of General-Purpose Particle and Heavy Ion Transport Monte Carlo Code," J. Nucl. Sci. Technol., 39[11], 1142-1151 (2002).
 - 11) K. Niita, et al., "PHITS: Particle and Heavy Ion Transport code System, Version 2.23," JAEA-Data/Code 2010-022 (2010).
 - 12) Y. Nagaya, et al., "MVP/GMVP II; General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods," JAERI 1348, (2005).
 - 13) 奥村啓介、「MOSRA-Light ; ベクトル計算機のための高速3次元中性子拡散ノード法コード」、JAERI-Data/Code, 98-025 (1998).
 - 14) 坂本幸夫、他、「国産放射線挙動シミュレーション計算コードシステム開発の必要性と展望」、日本原子力学会誌、解説、Vol.51, No.12, p.875-879, (2009).
 - 15) RSICC CODE PACKAGE PSR-480, "NJOY99.0: Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Cross Sections from ENDF/B data."
 - 16) International Commission on Radiological Protection, Publication 103, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," Ann. ICRP 37 (2-4), (2007).
 - 17) International Commission on Radiological Protection, Publication 110, "Adult Reference Computational Phantoms," Ann. ICRP 39 (2),(2009).
 - 18) 遠藤章、「ICRP 2007年基本勧告に基づく外部被ばく線量換算係数の計算」、RISTニュース No.47 (2009).
 - 19) 「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル (2007年度版)、財団法人原子力安全技術センター (2007).