

世界に取り残されつつある 放射線輸送計算コード開発体制

中島 宏^{*1}, 佐藤 理^{*2}, 平山 英夫^{*3}
Nakashima Hiroshi Sato Osamu Hirayama Hideo

1. はじめに

放射線輸送計算コードは、原子核反応等、放射線にかかる物理的知見を集約・反映し、体系化することにより、放射線挙動、放射能生成等を計算するものである。原子力の利用は、放射線利用及びエネルギー利用に大きく分類されるが、放射線及び放射能の把握は放射線・エネルギー双方の利用において基本的なことであることから、これら进行评估する放射線輸送計算コードは、原子力利用全般にかかる共通基盤技術である。

様々な放射線利用分野で放射線検出器が用いられているが、放射線輸送計算コードを用いて、その使用目的に応じた設計評価を行うことができ、放射線検出特性評価を効果的に行うことで、開発が効率化される。カミオカンデ等の高エネルギー物理学用検出器、生物学や農学等で幅広く用いられている中性子イメージング等、最新の放射線検出器・装置は、放射線輸送計算コードによって設計されている。

また、近年、放射線利用で特に注目すべきは、医療における利用である。がんの放射線治療の進展は目覚ましい。これら放射線治療において、重要な要素の一つは、患者の体内の放射線線量分布を評価して作成する放射線治療計画である。この評価精度が、患者における治療効果を左右し、不要な被ばくを減少させる。粒子線治療の進展や電子ライナックの高エネルギー化に伴い、この線量評価にも二次粒子の輸送などを考慮した詳細な物理モデルに基づく評価が求められており、モンテカルロ法などの放射線輸送計算コードの適用が始まっている。

エネルギー利用に関しては、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故が発生して以降、日本の原子力安全に対する考え方は大きな変革を迫られた。即ち、原子力発電所等に対して世界最高水準の安全性を追求するという国家目標が掲げられた。この目標

を達成するため、原子力規制委員会により、新規規制基準が示され、現在、原子力施設の安全審査が行われている。その新規規制基準にかかる考え方の重要な柱の一つとして挙げられているのが、“最新の科学技術知見を規制基準に反映する”ことである。共通基盤技術として、この安全評価において根幹の一つをなすのが、放射線輸送計算コードである。

しかし、今、この原子力利用の各分野の基盤を支えている、放射線輸送計算コードは多くの問題を抱えている^{1,2)}。

そこで、日本原子力学会・放射線工学部会では、国産安全解析コード開発戦略検討ワーキンググループ(WG)を設立し、その現状を調査再確認するとともに、放射線輸送計算コードのあるべき状況に向けた要素・要件を検討し、そして、今後あるべき姿について議論を行った^{3,4)}。本稿では、その概要について述べる。

2. 放射線輸送計算コードの現状

現在、原子力安全規制に用いられているコードは、その多くが、日本が原子力技術を米国から学んだ1960年代に作成された米国製のものである。作成後世界各国で数多くの改良がなされたが、その多くが既に世界のどこでも規制には使用されていない。即ち、現在の日本の規制においては、最新の科学技術知見を反映しておらず、国際標準から遥かに後れを取っている。

これまで日本においても数々のコードの開発が行われてきた。現在、日本原子力研究開発機構(JAEA)で開発・整備されたコンピュータプログラム及びデータベースの情報検索システムには、数百に及ぶ多種多様な目的の原子力コードが登録されている。しかし、その存在を知られているコードは限定的で、多くが利用されていない。

コード開発者は、そのコードの理論を提起した研究者が兼ねていることが多い。しかし、研究者本来の行為目標は自らの理論や手法を論文や特許として発表することであって、コードはあくまでそれらの検証を目的として作成される。実際、登録されている原子力コードの多くは適用範囲が狭く、利用者の立場に立って作られたものではない。

研究者が、広く利用される実用的なコード開発を志したとしても、所属する組織の目的として位置付けられていない限り、その活動は認められない。組織として、発明や知的財産を事業者に売却する可能性があっても、開発や営業の人材・設備の確保を組織が独自に行うことはこれまでなかった。

しかし、今、米国における著作権戦略が、我国の原子力産業を脅かしている。2009年、米国は自国が開発したMCNPコード⁵⁾に輸出規制(10CFR810)を適用した。これにより、世界中で、最新のMCNPの内容を見ることができなくなり、また、その精度、信頼性について検証することができなくなった。これに対して、英国・仏国など原子力先進国は独自のコード体系を保有し、中国や韓国等の後発国ですら、独自の開発体制を有している。万一、完全に米国製コードを用いることができなくなれば、日本の原子力産業及び放射線利用・開発に大きな支障が生じるのは明らかである。

福島第一原発の事故の後も、世界では新たに原子力発電を導入しようという国が増えてきており、また中国でも50基以上の増設が計画されている。中国や韓国では、新たに原子炉プラントの輸出を国の重要な産業に育てよう、という機運もある。このような輸出においては、ハードのみならず、安全規制や安全評価の方法などのソフト面も合わせて輸出することが望まれている。輸出先には、米国との原子力協定の関係で米国製コードが使えないような国も含まれており、米国コードに依存した安全評価ができなくなる可能性がある。そこで、中国や韓国では、この問題を見据え、数百人規模の原子力コード開発研究機関を立ち上げて、独自のコード開発を進めている。

日本は、福島第一原発事故の経験を踏まえて世界一厳しい安全規制を目指しており、それを実現するための安全評価技術の高度化は急務である。このためには安全評価に用いるコードも世界最先端の独自

のものを持たなければならない。

しかしながら、日本は、独自のコード開発という点で、欧米の原子力先進国のみならず中国や韓国と比較しても立ち遅れており、明らかに時代に取り残されている。

我国においてさらに問題なのは、人材不足により、コードの開発自体が行われなくなっていることである。世界が変化してきたにもかかわらず、研究開発機関を始めとする日本全体において、日本が原子力技術を導入してきた時代の外国依存の考え方を変えようとせず、このような危機意識がこれまでほとんどなかったことが、事態を深刻化させている。

このような状況下において、日本の原子力エネルギー利用及び放射線利用における放射線挙動解析に関するコードの開発とその保守体制の構築には日本としての戦略的な対応が求められる。

3. 放射線輸送計算コードに求められる要件

上記現状のもと、コードに求められる要件を次の通りに整理した。

(1) 国産であること

我国の原子力技術基盤セキュリティを確保するために、諸外国の政策・戦略等に影響されないことが重要であり、輸出制限等によって、これらが制約されることがあってはならない。

また、我国は世界有数の原子力技術を有しており、その世界展開が行われている。その展開においては、施設、装置の輸出と共に、その運用にかかるソフトウェアが一体となっている必要がある。これは今後展開が期待される、我国の放射線医療技術の世界展開においても、その信頼性確保の観点から同様である。そのため、これらの基盤技術であるコードは、日本の技術開発戦略の基盤となり、技術輸出展開の戦略に適用できることが必要となる。

この世界戦略を持続可能なものとするためには、日本の優位性を保つことが必須であり、独自技術の継承が行われなければならない。即ち、自国において、その開発を継続することにより、その開発体制を維持し、それを支える人材育成を継続的に行うことが必要である。

(2) 最新知見を反映し続けること

原子核反応等、放射線にかかる物理的知見に関

し、日本を始めとする世界各国においては、日々、研究開発が精力的に進められており、その成果を反映し続けることが必要である。そのためには、自国はもとより、諸外国との情報交換を常に行う仕組みを構築し、研究の進展を適切に反映できるよう、コード研究開発体制を整え、自国に保有し続けることが求められる。

(3) 品質保証がなされていること

コードが、様々な分野で利用され続けるためには、その各分野で求める信頼性・妥当性を保障することが必要である。ここでは、コードの検証範囲の明確化とベンチマークの考え方の明確化が必要である。これまで、コードについては、主に、ベンチマーク実験を基に、妥当性評価が行われてきた。これに対して、OECD/NEAにおいて、標準実験データ集の妥当性評価が精力的に進められている。また、更に広く、原子力分野全体に関しては、日本原子力学会において、原子力関連コード全般において、V&V (Verification & Validation) に対する取り組み及びその取り入れ方にかかる検討が行われている。

原子力安全規制においては、品質保証が求められている。この観点から、対象とするもの、若しくは行為に対して、その妥当性・信頼性にかかる体系的文書によるエビデンスが求められる。そのため、放射線輸送計算コードにおいても、それぞれ検証結果を文書化し、体系付け、その履歴を保証することが必要である。

(4) インターフェイスが充実しており、QMS (Quality management system) に対応すること

これまで日本で開発されたコードの多くは、顧客を念頭に置いたものではなかった。そこで、コードが一般化されるためには、ユーザーフレンドリーであり、使用者の負担を軽減させることが求められる。また、原子力の分野で求められている品質保証に耐えうるためには、入力ミスを低減させ、業務合理化が図れるものであり、また、解析の追跡性(トレーサビリティ)を容易にするために、出力に解析条件等が記述されていることが求められる。

(5) 規制、利用側双方の共通技術基盤であること

現在、原子炉等の安全規制においては、許認可申請において安全評価が行われた場合、その妥当性を検証するため、規制側でも別のコードを用いて、第3者的に評価が行われる。しかし、計算法の妥当性

及び信頼性を担保することにより、計算コード自体の検証は不要であり、規制側はその計算条件及び評価自体を確認することにより、申請の妥当性を確認できる。そのためには、双方の共通基盤としての放射線輸送コードの開発、維持・管理が合理的である。

(6) 人材の確保及び育成に貢献すること

コードの開発・維持体制の基本は、これらにかかる人材であり、その育成が必要である。先端性を維持するには、研究者個々の、物理学・工学等にかかる研究能力が問われる。また、原子炉関連分野だけではなく、放射線の幅広い応用に関する多岐にわたった知識が必要とされる。さらに、コードの性能維持、使用者の利便性等に 대응するためには、最新の情報処理技術にかかる能力も求められる。即ち、これら研究・技術開発に相応した多様な人材を確保するとともに、その育成が必要である。

(7) 継続的な開発・保守体制が確立されていること

海外のコードにおいては、米国では数十人の、仏国でも10人程度のチームを編成して、開発と維持・管理を行っている。それら諸外国のコードがデファクトスタンダードとして確固たる地位を確保しているのは、“チームとして”の開発及びメンテナンス体制が確立され、ユーザーからの声を確実にフィードバックする体制ができてきていることによる。

4. 放射線輸送計算コードの開発にかかる提言

4.1 規制側と事業者側の共通基盤技術としての放射線輸送計算コードの開発

規制側と事業者側が共通して用いるコードを、両者共通の基盤技術として開発し、その改良と保守を共同して継続的に行っていくことを提案する。また、コード自体の共通化のみならず、その妥当性・信頼性の評価方法の共通化を双方により行うことによって、大学等基礎研究を行っている機関における、最新の知見を取り入れていくことにも道が開け、開発体制の多様性が期待できる。即ち、標準化プロトコルによる国家認証制度の確立が、共通基盤技術開発には有効である。

4.2 継続的なコードの開発・改良及び保守のための体制の整備

コードを開発するには、解析手法の研究等の初期

段階から、開発後の継続的な改良や保守、ユーザーサポートなどまで、一貫して行う体制を構築することが必要である。そのためには、これらができる環境・体制を維持しなければならず、多額な予算が必要である。これには、安定した予算を得やすい規制側の公的予算を基本とすることが考えられる。しかし、コードの数が増えてくると、体制の肥大化により、公的な資金のみに頼ることは困難である。一方で、事業者側にとって、規制側によって認証されたコードであれば、それをを用いるメリットは非常に大きい。そこで、体制維持には、利用者負担を求めることは可能と思われる。

4.3 放射線輸送計算コードの精度評価を進めるための研究計画の策定

コード信頼性確保には、V&Vが重要な活動である。V&Vはソフトウェアの信頼性確認を行うため以外にも、V&Vを目的として、妥当性確認に必要なベンチマーク実験のデータを整理することにより、解析対象となる様々な事象について、データの現状を俯瞰することとなる。このデータを取得するための長期的な研究ロードマップの策定を行うことが望まれる。

4.4 国産コードの開発と利用における学協会の関与

学協会の役割として期待されるのは、ステークホルダーの意見を聴いて認証候補となる既存コード類を洗い出し、国産化対象を優先順位とともに提示すること、コード類の標準化やV&Vに係る標準を策定することなどである。

標準コードに対しては、学協会はまず必要項目の全体像を示し、認証候補となる既存コード類を洗い出すことが求められる。そして、規制者と事業者の意見を反映し、その中から新たに国産化すべき対象を見定め、開発目標を優先順位とともに提案する。

ここでの標準化とは、規制利用を意図するコード類に対して、コード類の概要や目的、そして規制利用に相応しいことを示す付属文書を作成することを指す。標準化の必要事項については、学協会によって策定された標準化指針に依拠する形が望ましい。

標準化されたコードが、規制利用に適するかについては別途審議を行って、公的認証を与える仕組みが必要である。認証手続きと認証基準は、学協会の助言をもとに規制者が主体的に係わって作成する必

要がある。認証の要件について、特に権利関係、帰責・免責事項、サポートについて注意が必要である。また、標準化に際して、コードの内容や権利関係は明らかでなければならない。

コード類の精度・信頼性・品質保証は、学協会に所属する専門家らの支援を要するため、標準化要件に含めるべきと考える。これに関して、現在日本原子力学会で取り組んでいるV&V標準作成活動において、V&Vの民間基準についての方向性と基準案が纏められ、ガイドラインの策定が進められている。

5. まとめ

コードは物理的知識の集大成であることから、現在、世界中で進められている最新の科学的知見を集約し、反映し続けることは、学術的に、また産業的に重要な意味を持つ。そのため、原子力利用全般にかかる共通基盤技術であるコードの在り方は、今後の原子力利用の将来性に関わる重要課題である。

著作権等知的財産が、既に世界各国において産業戦略の一つとして位置付けられている現状において、原子力利用における知的財産について、過去の外国依存を脱却し、日本として産学官の総力を上げて対応しなければならない。

参考文献

- 1) 「原子力利用を支えるソフトウェアの状況と開発に関する調査」, (一財)高度情報科学技術研究機構, (平成23年11月)
- 2) 田中俊一他, 「我国での米国製原子力ソフトウェアの利用と課題—米国の管理政策に変化の兆し—」, 原子力 eye, 56, No.11 (2010年11月)
- 3) 「国産安全解析コード開発戦略検討報告書」, 日本原子力学会・放射線工学部会・国産安全解析コード開発戦略検討ワーキンググループ, (平成26年11月)
- 4) 須山賢也他, 「国産安全解析コードの現状と課題 我国の安全規制へ貢献を目指して」, 日本原子力学会誌, Vol.57, 36-40, (平成27年12月)
- 5) Forrest Brown, "Fundamentals of Monte Carlo Particle Transport", LA-UR-05-4983, (2005)

(*1) 日本原子力研究開発機構,

*2) (株)三菱総合研究所,

*3) 高エネルギー加速器研究機構)