

放射線工学部会セッション

放射線遮蔽ハンドブックに基づく初心者のための遮蔽設計

Shielding design for beginners based on a Handbook of Radiation Shielding

(3) モンテカルロコード PHITS

(3) Monte Carlo code PHITS

*岩元 洋介¹¹原子力機構

1. はじめに

原子力機構を中心として開発を進めるモンテカルロコード PHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)はきわめて広範囲に利用されており、放射線遮蔽設計においても小規模な RI 施設から大型の高エネルギー加速器施設まで幅広く適用できる。本発表では、最新の機能を含めた PHITS の特徴などを解説する。

2. PHITS の概要

PHITS[1]は、任意の 3 次元体系内における放射線挙動を解析できる汎用モンテカルロ計算コードである。その適応範囲は、原子力分野で重要な 20 MeV 以下の中性子や光子の他に、加速器工学や医療・宇宙分野で評価対象となる高エネルギー陽子や重イオンなど、現実的に挙動解析が必要なほぼ全ての放射線である。図 1 は PHITS に組み込まれた物理モデルとその適用エネルギー範囲を示している。核反応は、核子と核子が直接相互作用する動的過程と、その後に平衡状態に達した原子核が崩壊する静的過程に分けて模擬する。核反応の動的過程に核内カスケードモデルなどが用いられ、静的過程のシミュレーションには蒸発・核分裂モデルが使われる。20 MeV 以下の中性子による核反応は、核データライブラリ JENDL-4.0 で模擬する。その際、イベントジェネレータモードにより二次中子のみならず二次陽子や反跳核などの情報も引き出せる。

解析を行う 3 次元幾何学形状は、General Geometry(面を組み合わせる 1 つの形状を定義する形式)等で記述する。ユーザーは、タリーと呼ばれる機能を活用することで、放射線挙動解析の結果から特定の領域や任意の 3 次元メッシュ空間内での粒子フラックス、発熱量、生成核種分布などを取得できる。さらに、ANGEL と呼ばれる独自の描画ツールを内蔵しており、図 2 に示すように、幾何学形状や計算結果を可視化できる。

PHITS パッケージは、Fortran で書かれたソースプログラムの他、実行ファイルや ACE 形式の核データライブラリ JENDL-4.0 など、PHITS を実行するために必要なファイルを全て含んでいる。また、ほぼ全てのパーソナルコンピュータやワークステーションで動作し、専用インストーラから簡単に動作環境を構築できる。他、並列計算に対応しており、スーパーコンピュータを活用した大規模計算にも適している。

近年は、陽子及び中子入射に対するライブラリ JENDL-4.0/HE の読込機能、熱流体解析コード FLUENT との連成計算機能の開発等が進められている。放射線遮蔽計算に活用できる機能やデータとして、遮蔽体中の粒子輸送を効率的に行うために粒子の重みを操作する機能、RI 線源を入力して放出放射線特性を自動的に設定できる機能、線量換算係数等が組み込まれている。

中子	陽子・π粒子 (その他の核子)	重イオン	μ粒子	電子・陽電子	光子
1 TeV	核内カスケード模型 JAM 3.0 GeV + 蒸発模型 GEM	1 TeV/u JAMQMD + GEM	1 TeV 仮想光子核反応 JAM/JQMD + GEM	EGS5	1 TeV 光核反応 JAM/JQMD + GEM + JENDL + NRF
20 MeV	核内カスケード模型 INCL4.6 + 蒸発模型 GEM	量子分子動力学模型 JQMD + GEM 10 MeV/u	200 MeV ATIMA + オリジナル		
核データ ライブラリ JENDL-4.0	1 MeV 電離損失 ATIMA	1 keV 電離損失 ATIMA	ミューオン 原子生成 + 捕獲反応 1 MeV	1 keV	
0.01 MeV	→ イベントジェネレータモード: 核反応による2次粒子を特定可能				

図 1 PHITS に組み込まれた物理モデル

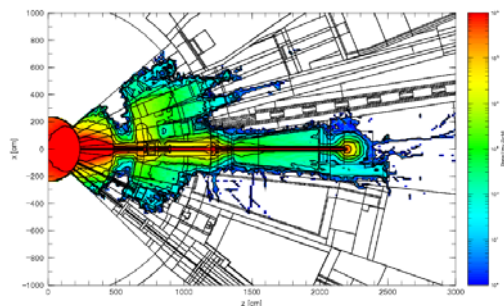


図 2 J-PARC 物質・生命科学実験施設の中子ビームライン周辺の発熱量計算結果

参考文献 [1] T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol. 55, 684-690 (2018).

*Yosuke Iwamoto¹, ¹Japan Atomic Energy Agency.