

最新版 PHITS の包括的なベンチマーク計算

Comprehensive benchmark calculations of the latest version of the PHITS code

*岩元 洋介¹, 佐藤 達彦¹, 橋本 慎太郎¹, 小川 達彦¹, 古田 琢哉¹,
安部 晋一郎¹, 甲斐 健師¹, 松田 規宏¹, 細山田 龍二², 仁井田 浩二²

¹原子力機構, ²RIST

粒子・重イオン輸送計算コード PHITS を加速器遮蔽設計、医学物理計算などへ適用した場合の計算精度の検証、今後の改善のための指標を得ることを目的として、PHITS の包括的なベンチマーク計算を実施した。

キーワード : PHITS, ベンチマーク計算, 核反応, 遮蔽, 電磁カスケード

1. 緒言 PHITS[1]は、多様な放射線の挙動を解析可能な汎用モンテカルロ計算コードであり、加速器遮蔽設計、医学物理計算などの幅広い分野で利用されている。本研究では、最新の PHITS ver.2.82 の精度検証を目的として、①核反応による粒子生成断面積(47 ケース)、②加速器遮蔽設計等のための中性子輸送(6 ケース)及び③X線治療等のための電磁カスケード(12 ケース)に対し、包括的なベンチマーク計算を実施した。

2. 計算条件 本研究では、PHITS が設定を奨励している物理モデルによる計算の検証を進めた。具体的には、核子に対しては核内カスケードモデル INCL4、重イオンに対しては量子分子動力学モデル JQMD、残留核の蒸発モデルとして GEM を用いた。また、光子・電子の輸送には電磁カスケードコード EGS5 のアルゴリズム、20MeV 以下の中性子輸送には JENDL4.0 ライブラリを使用した。

3. 計算結果 陽子、中性子、重イオン等の入射反応について、PHITS は 100MeV 以上のエネルギーで実験値を概ね再現したが、100MeV 未満では実験値と大きな差が生じた。図 1 は、40MeV 及び 256MeV 陽子入射による厚い炭素からの中性子収率を示している。40MeV 陽子入射では、INCL4 の適用範囲外のエネルギー領域のため計算値が実験値を再現しなかったと考えられる。今後、評価済み核データ JENDL4.0/HE を PHITS に組み込むことで、計算精度を改善する予定である。他、100MeV 以上の陽子入射反応からの核分裂成分の収率の実験値を再現しないケースがあった(図 2)。これは、GEM の高エネルギー核分裂過程の取り扱いに問題があると推測される。一方、電磁カスケードの計算結果は実験値を良く再現した(図 3)。

以上のように、加速器遮蔽設計、医学物理応用等に必要な計算精度を検証するとともに、PHITS の現状における問題点を抽出し、今後の効率的な改善の指針を得ることができた。

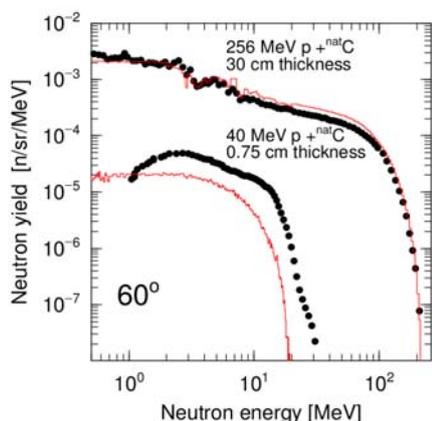


図 1 40MeV 及び 256MeV 陽子入射による厚い炭素からの中性子収率

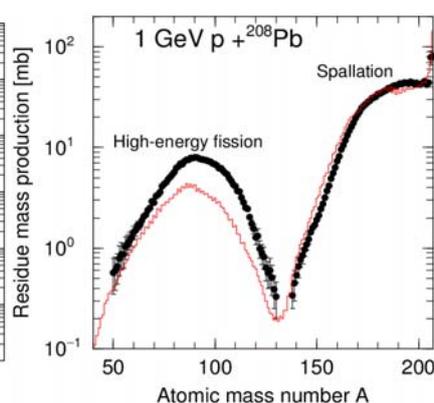


図 2 1GeV 陽子+Pb 核反応による残留核の質量分布

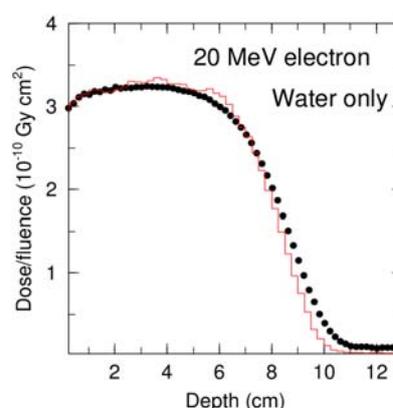


図 3 20MeV 電子入射による水中の線量分布

参考文献

[1] T. Sato et al., Particle and heavy ion transport code system PHITS, version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50 (2013) 913-923.

*Yosuke Iwamoto¹, Tatsuhiko Sato¹, Shintaro Hashimoto¹, Tatsuhiko Ogawa¹, Takuya Furuta¹, Shinichiro Abe¹, Takeshi Kai¹, Norihiro Matsuda¹, Ryuji Hosoyamada², Koji Niita²

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Research Organization for Information Science and Technology