

数十 keV 光子による電子飛跡の空間分布計算

Spatial distribution of the electron tracks

produced by several tens of keV photons

成山展照

平成 9 年 10 月

日本原子力学会「1997 年秋の大会」要旨集

放射光や X 線発生装置を用いた熱蛍光線量計の応答測定により、光子エネルギー、線量に依存して同素子の発光効率に変化することが観察された。その原因は、吸収線量などマクロな量では説明がつかず、エネルギー付与の微細な空間分布構造などを求める必要がある。そこで、光子と物質との相互作用により発生した電子の微視的な飛跡をモンテカルロ輸送計算コードを用いて計算した。

光子によって発生した電子の飛跡は、光子の飛跡との関連において、3 通りに区別される。すなわち、電子は光子の飛跡に沿って発生し、ある距離を移動するが、その移動は同じ光子飛跡上の他の地点で発生した電子の移動範囲までは到達しない場合、あるいは到達する場合 (intra-track 作用)、さらには他の光子飛跡上で発生した電子の範囲まで到達する場合 (inter-track 作用) がある。電子飛程と光子飛跡間距離の比較から、低エネルギー光子の場合、第 3 の頻度は高エネルギーの場合に比べて少ないと考えられる。また、電子飛程と光子の平均自由行程の比較から、第 2 の場合が起きる頻度は、低エネルギーと高エネルギーでさほど変わらないことが推定され、計算は、まず、もっとも基本的な第 1 のケースである電子飛跡が光子飛跡毎、発生地点毎に独立な場合を想定して行った。

計算コードは、Vapor に対して電子を 10 eV まで追跡できる飛跡計算コード PARTRAC を用いた。同コードは、電子の各相互作用を逐一計算する。計算は、厚さが入射光子エネルギーに対応する電子飛程の 2 倍ある平板に、ペンシル光子ビームを垂直に入射させ、そのときの光子の散乱点の位置、発生する電子エネルギー、方向をいったん保存し、次にそれを入力に電子輸送計算を行い、深さが電子飛程以上の領域において電子が相互作用をおこした地点間の最近接距離を求めた。入射光子エネルギーは、10, 50, 100, 200 keV である。計算の結果、いずれの光子エネルギーに対しても 0.2 nm 付近に頻度のピークがあり、2 nm 以上離れるとその割合が非常に少なくなることがわかった。また、エネルギーが低くなるほど、単位線量当たり 2 nm 以内に近づいている場合が多くなり、電子によるエネルギーの沈積が集中して起こりやすくなることが明らかになった。

DOT-MCNP 結合計算用サブルーチン

SOURCE の作成

Preparation of Subroutine SOURCE for

DOT-MCNP Coupling Calculation

植木紘太郎、山野直樹

平成 9 年 10 月

日本原子力学会 1997 年秋の大会要旨集

連続エネルギーモンテカルロコード MCNP4A では入力カード sdef を用いることにより、かなり複雑な線源発生位置、発生方向、線源エネルギースペクトル等が入力でき、さらに線源バイアスを行うことも可能である。しかし、Sn コード DOT3.5 のような二次元計算コードで得られた中性子等の角度束を MCNP4A の線源として用いようとすると、DOT-DOMINO-MORSE の DOMINO に相当する座標変換を伴うサブルーチン SOURCE を用意する必要がある。本報告は、サブルーチン SOURCE を構成する座標変換式によって、DOT3.5 で得られた中性子角度束がどのようにして MCNP4A の線源に移行するかについて述べる。

MCNP4A の計算では線源は半径 r_0 の球面上から前方へ一様に発生するものとする。

半径 r_0 の球面上の点 $P(x, y, z)$ とその点における方向ベクトル $\vec{\Omega}(u, v, w)$ は次のようにして決定する。

$w = \xi$ (前方々向のみとする) ここで、 ξ は一様乱数 ($0 \leq \xi \leq 1$)、 $\rho = \sqrt{1 - w^2}$ 、 $\phi = \pi(2\xi - 1)$ とすると、 $v = \rho \sin \phi$ 、 $u = \rho \cos \phi$ となり、 $z = r_0 w$ 、 $y = r_0 v$ 、 $x = r_0 u$ のようにして点 $P(x, y, z)$ が決定できる。次に点 P から発生する粒子の方向を決める。DOT3.5 の計算では Sn 分点の代表角に対する角度束が与えられるので、これを元に、モンテカルロ計算では代表角を含む角度ビン中では一様に発生するものとして極角を決める。

$\eta = \eta_i + \xi(\eta_{i+1} - \eta_i)$ 、 $\rho' = \sqrt{1 - \eta^2}$ 、 $\theta = \pi(2\xi - 1)$ とすると、座標変換式により $w = 1$ の場合は、 $u' = \rho' \cos \theta$ 、 $v' = \rho' \sin \theta$ 、 $w' = \eta w$ のようにして点 P から発生する粒子の方向ベクトル $\vec{\Omega}(u', v', w')$ が求まる。

$w \neq 1$ の場合は、 $u' = \rho'(uw \cos \theta - v \sin \theta) / \rho + \eta u$ 、 $v' = \rho'(vw \cos \theta - u \sin \theta) / \rho + \eta v$ 、 $w' = -\rho \rho' \cos \theta + \eta w$ のようにして方向ベクトル $\vec{\Omega}'(u', v', w')$ が求まる。

前記のような座標変換式を元にして線源の発生位置およびその方向を決定するサブルーチン SOURCE を作成し、MCNP4A に組み入れ、動燃事業団の協力により、米国オークリッジ国立研究所の TSF (Tower Shielding Facility) で行った JASPER 実験を解析した。