

モンテカルロシミュレーションによる蛍光飛跡検出器の飛跡検出能の評価

Evaluation of the detection ability of FNTDs for charged particle tracks by Monte Carlo simulation

*橋詰拓弥^{1,2}, 岡崎徹¹, 佐波俊哉^{2,3}, 萩原雅之^{2,3}, 文珠一郎秀昭^{2,3}, 林裕晃⁴, 小林 育夫¹

¹長瀬ランダウア (株), ²総合研究大学院大学, ³高エネルギー加速器研究機構, ⁴金沢大学

蛍光飛跡検出器 (FNTD) に入射した荷電粒子の飛跡は、素子の蛍光特性により、ある深さ平面で画像化できる。飛跡領域から得られる蛍光は、荷電粒子の付与エネルギーに依存する。本研究では、荷電粒子のエネルギー付与分布から荷電粒子の蛍光画像を再現する。

キーワード：蛍光飛跡検出器、モンテカルロシミュレーション

【背景】FNTD はコンバータと組み合わせて中性子線量計として用いられる。中性子との核反応によりコンバータから発生した荷電粒子は FNTD に入射し、飛跡を形成する。荷電粒子の飛跡は、共焦点顕微鏡システムにより、ある深さ平面で画像化される。FNTD 線量計を中性子- γ 線混在場で使用すると、画像上では γ 線由来の電子が荷電粒子飛跡と重なり、飛跡誤認を引き起こす。中性子場に応じて FNTD 線量計の閾値線量 (γ 線) を定義するには、飛跡が画像化される仕組みを理解し、飛跡画像を再現し、飛跡誤認の程度を予測できることが望ましい。本研究では、モンテカルロ計算コード PHITS で求めた荷電粒子のエネルギー付与分布から飛跡画像を再現するためのパラメータを検討した。

【方法】再現の対象とする飛跡画像を得るため、FNTD に ^{241}Am - α 線を照射した (500 tracks/mm^2)。照射済み FNTD の $3.5 \mu\text{m}$ 深さを専用リーダー (Landauer, Inc., FXR-700N) でスキャンし、36 枚の蛍光画像 ($100 \times 100 \mu\text{m}^2$, 500×500 ピクセル) を得た。得られた蛍光画像から 188 個の α 線飛跡を特定し、9 ピクセル Φ の円形で抽出した後、ピクセル単位の蛍光強度分布を取得した。また飛跡中心軸 (X 方向、Y 方向) の蛍光強度を測定し、ガウス分布にフィッティングすることで、飛跡の 2 次元広がり (σ_x, σ_y) を算出した。

一方で PHITS を用い、模擬された FNTD (Al_2O_3 , 3.85 g/cm^3 , $4 \times 8 \times 0.5 \text{ mm}^3$) の中心 $3\text{--}4 \mu\text{m}$ 深さに、 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$, 500×500 メッシュのボクセルを定義し、 5.48 MeV の α 線を平行ビーム (0° , $8000 \text{ 個}/4 \times 4 \text{ mm}^2 \times 100 \text{ 回試行}$) で照射した。ボクセル領域に与えられた α 線エネルギーを 2 次元マップで表した後、2D ガウシアンフィルタ (σ_x, σ_y) で平滑化し、エネルギー付与分布に基づく“再現画像”を取得した。

“再現画像”のエネルギー付与分布と実画像の蛍光強度分布を比較し、両者の変換手法を検討した。

【結果・検討】図 1(a) に α 線の蛍光飛跡画像を、図 1(b) にエネルギー付与分布に基づく“再現画像”を示す。実画像 (図 1(a)) の解析から、 α 線の 2 次元広がり (σ_x, σ_y) = (2.5, 2.5) (ピクセル) として得られた。 α 線のエネルギー付与分布からと蛍光強度の分布を再現するには、他に、1. 共焦点の奥行き分解能、2. 発光効率 (LET・粒子種)、3. BG シグナルの扱い、について検討する必要がある。

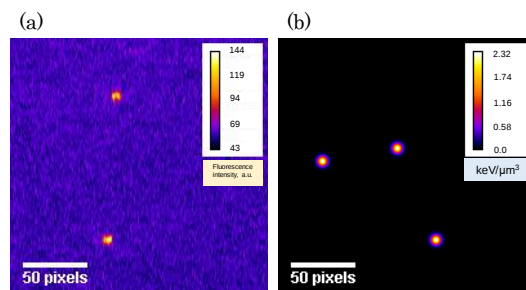


図 1(a) α 線の蛍光飛跡画像、図 1(b) エネルギー付与分布に基づく“再現画像”

*Takuya Hashizume^{1,2}, Tohru Okazaki¹, Toshiya Sanami^{2,3}, Masayuki Hagiwara^{2,3}, Hideaki Monjushiro^{2,3}, Hiroaki Hayashi⁴ and Ikuo Kobayashi¹

¹Nagase Landauer, Ltd, ²SOKENDAI, ³KEK, ⁴Kanazawa Univ.