

NEUT のデモンストレーション計算

Y. Satou, Y. Makimura

November 13, 2024

Abstract

NEUT のオリジナルに近いパラメータ設定で出力される情報の幾つか（位置分布、時間分布、積分効率等）をヒストグラムとして可視化した。この中性子検出器効率評価コード NEUT の新しい活用方法の模索を試みる。

1 はじめに

NEUT はモンテカルロ法に基づく中性子のプラスチックシンチレータによる検出効率の評価コードである [1]。今回、デモンストレーション目的の為、このコードの比較的オリジナルに近いソース、入出力ファイルの情報を利用して、幾つかの関連物理量の分布図を作成した。尚、以前に著した NEUT に関する報告は Web ページ [2] に上げた。今回想定した中性子のエネルギーは 30 MeV、プラスチックシンチレータの形状はシリンダー（直径 11.81 インチ、厚み 5.906 インチ）で、中性子はシリンダー平面の中心に垂直に入射する（図 1）。

2 時間と位置の分布図

図 2 に NEUT の出力に含まれる、時間配列と位置配列 (X 位置) をヒストグラム化したものを示す。これらの配列は、FOLNUT と SECNUT サブルーチン内に於いて、波高が最初に TBIAS (=0.2 MeV_{ee} に設定) を超えた場合に、対応するヒット時刻とヒット位置のビンのカウント数を 1 インクリメントすることで得られる。初めのヒットで波高が TBIAS に達しないが中性子が偏向し、その後にシンチレータボリューム内で次の散乱が発生し発光量が TBIAS を超える、といった場合が存在する。このため、ヒット位置分布は X が有限の値に広がる。

尚、FOLNUT（及び SECBUT）サブルーチン内で飛跡追尾される中性子がこのルーチンを抜ける条件が、下記の三つであることを、備忘録がてらここに書き留めておく。

- 中性子のエネルギーが下限値 (EMIN=0.1 MeV) を下回る、
- 中性子が検出器ボリュームの外に射出する、
- 散乱の回数が設定上限 (NSMAX=10) を超える。

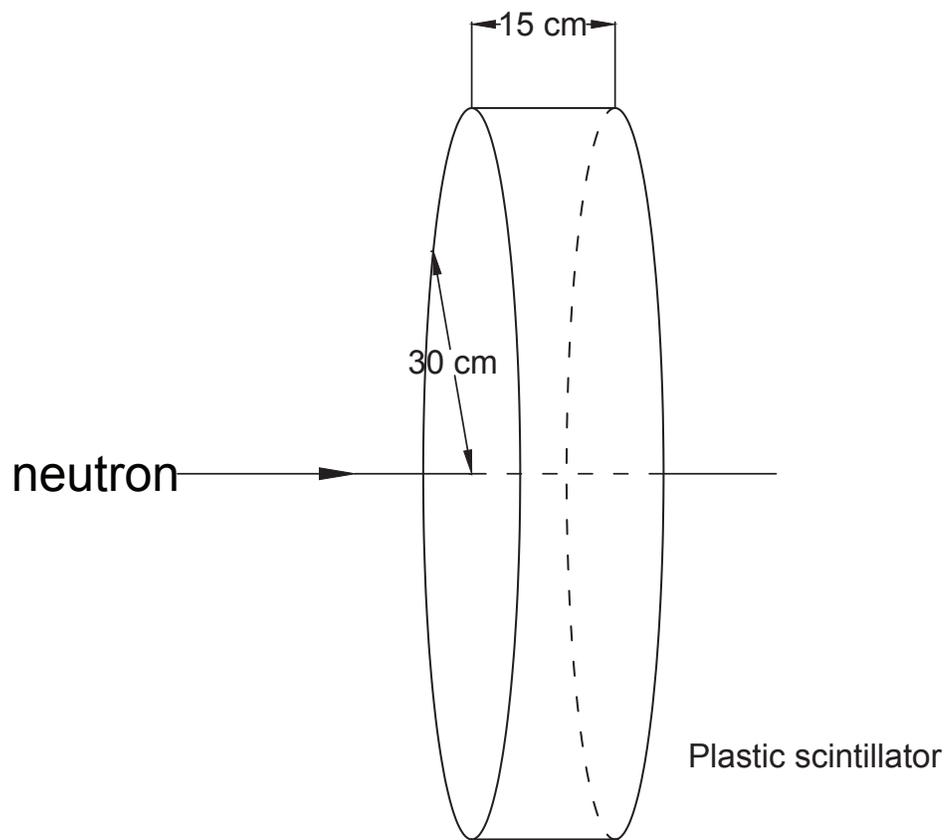


Figure 1: 今回考察した、プラスチックシンチレータの形状。

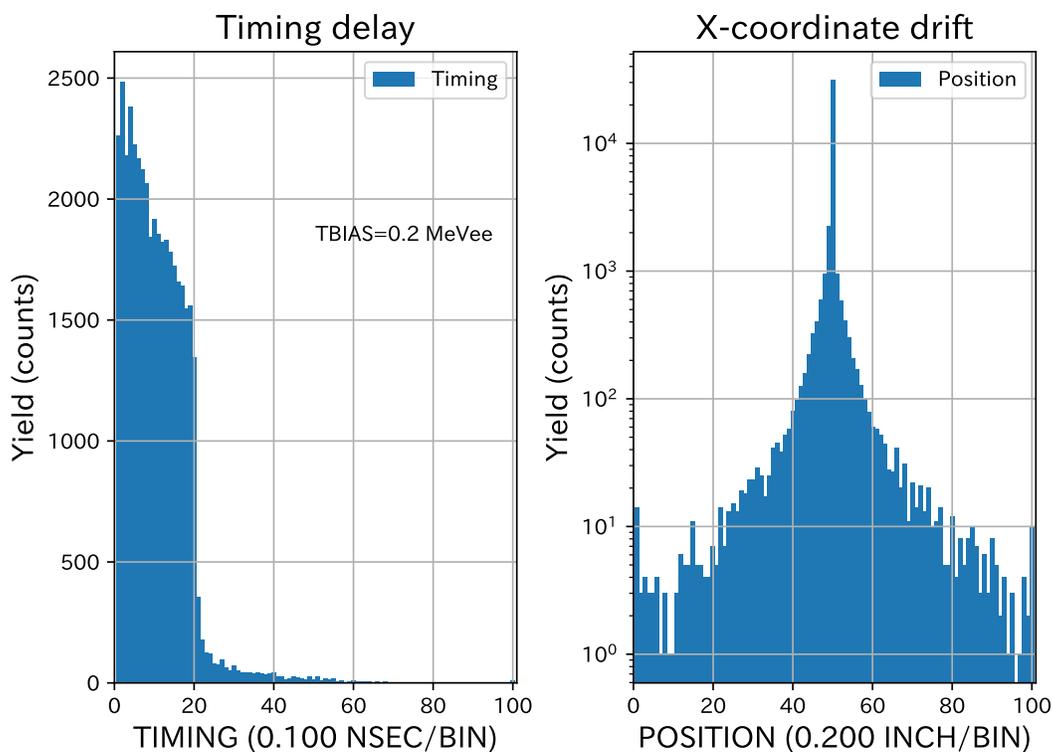


Figure 2: ヒット時間分布とヒット位置分布。

3 積分検出効率分布

図 3 に NEUT の標準出力に含まれる積分検出効率の分布（黒点）を示す。ELOPE (Energy Level for One PhotoElectron) を 0.0 MeV とした場合の結果を示す。図中、各反応チャンネルからの寄与の内訳 (break down) を色付きのヒストグラムで示した。尚、これらの break down ヒストグラムは、標準出力には含まれておらず、ソースコードに改変を加え今回新たに出力する仕様としたものである¹。

中性子の入射エネルギーが 30 MeV では、チャンネル 1 ($n + p \rightarrow n + p$ 弾性散乱、図 3 の青のヒストグラム領域) が支配的であることが分かる。

4 出射荷電粒子の方位、エネルギー、及び位置分布

ファンクション EEQUIV に若干の変更を加え、プラスチック (のボリューム) から出射する荷電粒子の発光量 (出射直前の散乱に基づくもの)、出射エネルギー、出射方位、及び、(出射直前の) 散乱の位置を出力する仕様とした。ある一回の散乱でのシンチレータ中での発光量が $ELT \geq 4.0$ MeVee、出射荷電粒子の運動エネルギーが $EEXT \geq 4.0$ MeV の条件で、出射方位と出射エネルギーの相関をプロットしたものを図 4 の左パネルに、出射方位分布を同図右パネルに示す。出射方位が前方 ($\cos \theta = 1$) に偏っていることが分かる。

¹インクリメントするヒストグラムのチャンネルは、総発光量に基づいて決めた。また、ヒストグラムのインクリメントは 1 ではなく、各チャンネルの波高分率 (実数) とした (総発光量が、一般に、複数のチャンネルからの寄与の合算となる為)。

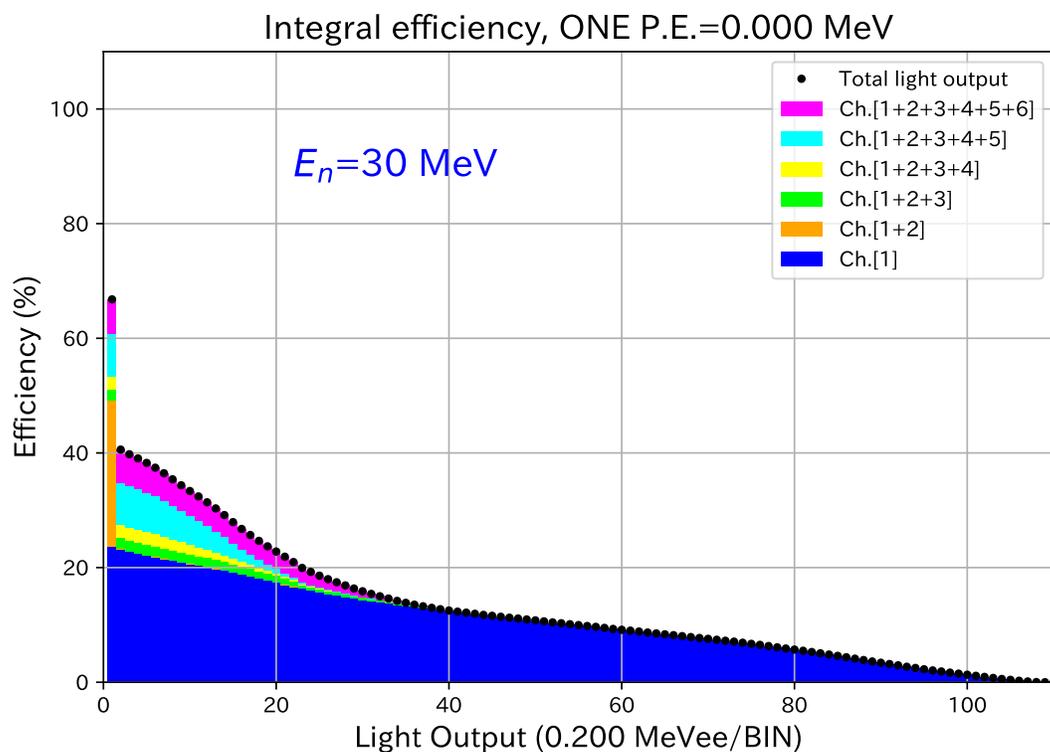


Figure 3: 積分検出効率の分布。

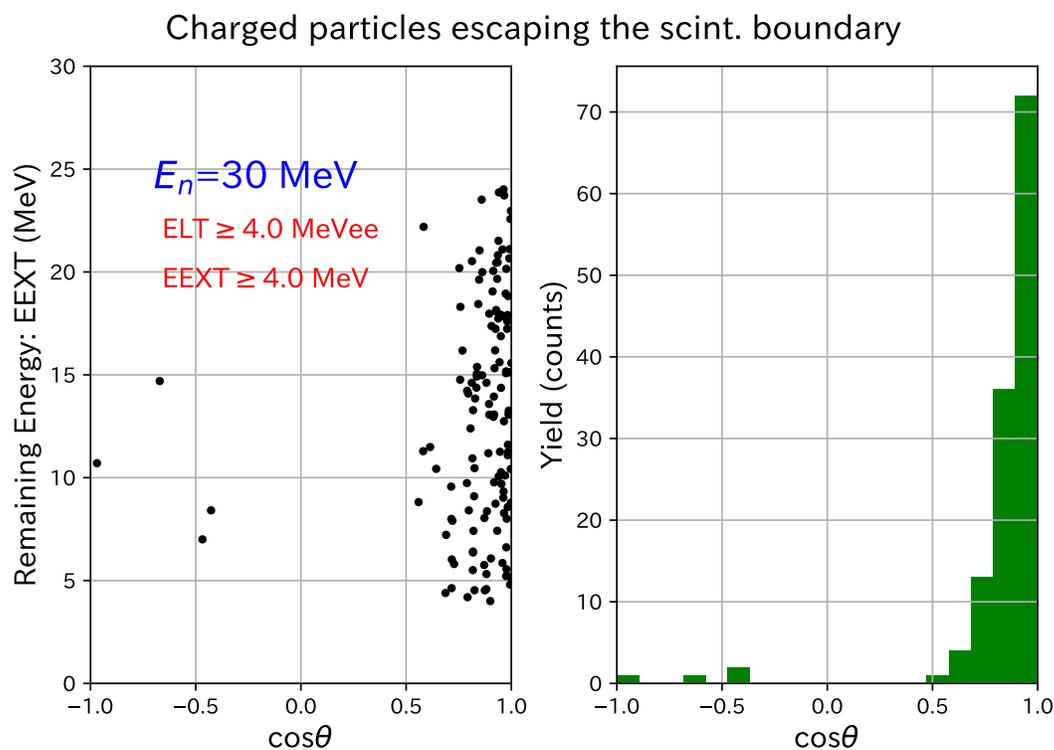


Figure 4: シンチレータから出射する荷電粒子の方位とエネルギー。

図 5 に、出射直前の散乱点の位置の $Z - X$ 座標の分布 (左上パネル)、 $Z - Y$ 座標の分布 (左下パネル)、及び、 Z 座標の分布 (右パネル) を示す。シンチレータ中での発光量や出射荷電粒子のエネルギーについての条件は上記と同じである。出射直前の散乱点がシンチレータ表面に偏在して分布していることが分かる。

図 6 に、出射直前の散乱点の位置の X 座標の分布 (左パネル) と Y 座標の分布 (右パネル) を示す。それぞれの分布の標準偏差 (std) は、0.949 インチと 0.926 インチであった。各ヒストグラムのエントリー数は 130 個であった。入射中性子数を 99999 としたので、 $ELT \geq 4.0$ MeV と $EEXT \geq 4.0$ MeV の条件で荷電粒子が出射する効率は、 $130/99999 = 0.13\%$ と計算される。

5 今後の取り組み

今後の取り組みとして考えられる項目を以下に列記する。

1. NEUT の $n - p$ 散乱の角度分布の取り扱いについて指摘されている不具合 [3] の、手持ちのコードにおける修正の有無の確認。修正が必要な場合、修正の各種計算量に対する影響の評価。
2. $^{12}\text{C} + n \rightarrow p + ^{12}\text{B}$, $n + p + ^{11}\text{B}$, $2n + ^{10}\text{C}$ チャンネルにおける核内核子のフェルミ運動の効果の加味。
3. 荷電粒子と中性子の散乱後の方位角に正しい運動学的相関が考慮されていない問題 (今回気がついたもの) を修正する。
4. 今回提示したデータに関し、中性子入射エネルギー依存性、シンチレータ厚依存性等の系統性チェックを進める。
5. 組み込まれているプラスチックシンチレータの飛程テーブル (パラメータ) を、使用する製品・型番に即したものに改める。

References

- [1] R.A. Cecil, B.D. Anderson, and R. Madey, Nuclear Instruments and Methods 161 (1979) 439.
- [2] [Neutron efficiency code NEUT \(Y.Satou\)](#).
- [3] W.C. Sailor, R.C. Byrd, and Y. Yariv, Nuclear Instruments and Methods A277 (1989) 599.

Charged particles escaping the scint. boundary (II)

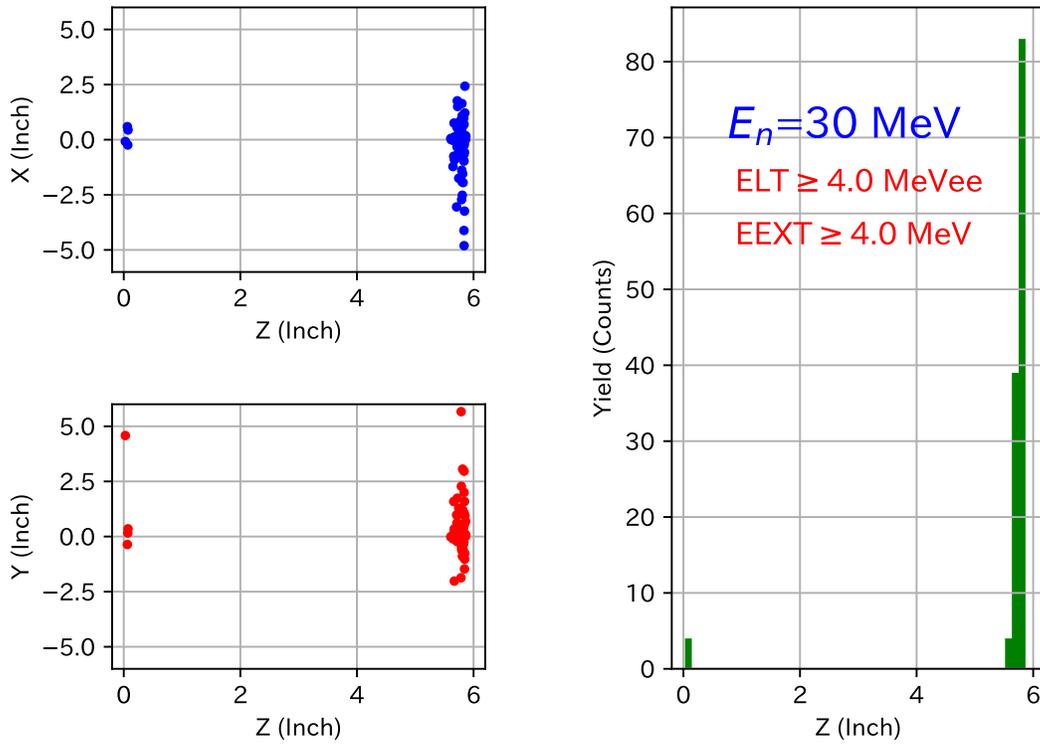


Figure 5: シンチレータから出射する直前の散乱点の位置の分布。(左上) $Z - X$ 分布。(左下) $Z - Y$ 分布。(右) Z 分布。

Charged particles escaping the scint. boundary (III)

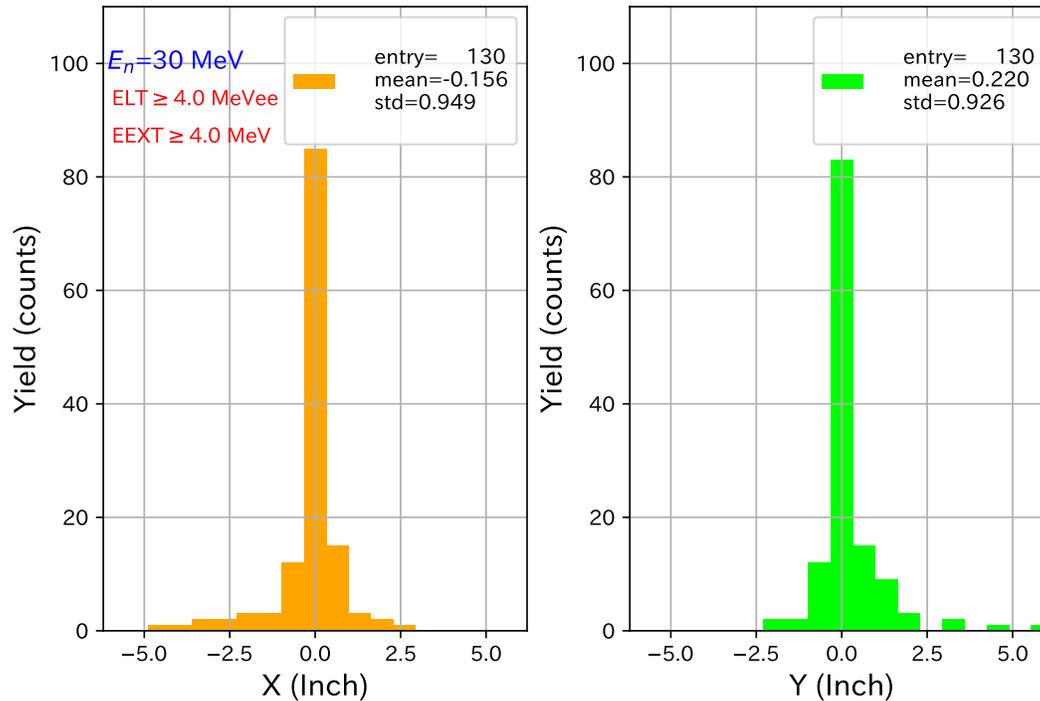


Figure 6: シンチレータから出射する直前の散乱点の位置の分布。(左) X 分布。(右) Y 分布。