

# NEOLIS プラスチックでの出射陽子の発生位置、 発光量、出射エネルギーの分布

Y. Satou, Y. Makimura, R. Takahashi

November 19, 2024

## Abstract

現時点での NEOLIS DC の物質の配置（2パターン）をまとめた。DC 中での陽子のエネルギー発展を計算し、二通りの物質配置のそれぞれについて、飛跡を特定する為に 40 MeV もしくは 20 MeV 程度のエネルギーが必要なことが分かった。それぞれの場合について、シンチレータ（厚みは 4 cm とした）中での発光量が 2.0 MeVee 以上の条件で、検出効率評価コード NEUT を用いて出射陽子の角度、エネルギー、発生位置、発光量の分布を導出した。結果は今後 geant のシミュレーション結果と比較する予定。

## 1 はじめに

NEOLIS DC の物質構成を明らかにし、その中での陽子のエネルギー損失特性を理解しておくことは重要である。今回、暫定的な物質構成をまとめ、いくつかの陽子のエネルギーについて、DC 中でのエネルギー損失計算を実施した。

出射陽子のエネルギーに制限を加え、シンチレータ中での陽子の角度、（シンチレータ背面での出射）エネルギー、発生位置、発光量の分布を調べた。

## 2 NEOLIS DC 中での陽子のエネルギーの発展

NEOLIS DC に入射する陽子のエネルギーがどの位だと、DC の二つのセンス面を突き抜けて飛跡を決定できるかを評価する為に、幾つかの陽子エネルギー ( $E_p = 20, 30, 40$  MeV) に対して、陽子の DC 内部でのエネルギー発展を計算した。

NEOLIS DC の物質情報の一つのパターンを表 1 にまとめる。この物質情報は、2024.11.15 現在における、高橋さんの geant4 シミュレーションコードで想定された物質リストに概ね基づく。今回の計算における、高橋さんの物質リストからの修正点は次の二点である。

1. シールド用 CFRP の外側に貼り付けられているシールド用銅は、マイラー（アルミナイズドマイラー）45  $\mu\text{m}$  に置き換えた。
2. CFRP や FR4 中での陽子のエネルギー損失の計算に、報告 [1] に示した現実的なパラメータを使用した。

NEOLIS DC の物質情報の他のパターンを表 2 にまとめる。このパターンでは、最新の図面情報に基づき、FR4 カソード基板や GFRP 基板 (FR4 と置き換えた) の厚みを 0.2 mm とした (今回取り上げた物質情報は暫定的なもので、今後改定を継続する)。

DC の物質構成として表 1 の配置 (パターン 1) を想定して行ったエネルギー損失 (発展) の計算結果 (DC 中でのエネルギー vs. depth) を図 1 に示す。図中緑の縦線は、各センス面の入り口と出口の境界 (補強部の外側の境界)、あるいは、カソード面上の銅の電極の位置を示す。陽子ビームは、DC に垂直に入射するとした。この図から明らかなことは、陽子の飛跡が特定されるためには、DC 入り口で少なくとも 30~40 MeV のエネルギーを持つ必要があることである。

DC の物質構成として表 2 の配置 (パターン 2) を想定して行ったエネルギー損失 (発展) の計算結果 (DC 中でのエネルギー vs. depth) を図 2 に示す。この場合、陽子が DC の二つのセンス面を通過して飛跡が決定されるには、DC 入り口で少なくとも 20~30 MeV のエネルギーを持つ必要がある。

### 3 出射陽子の角度・エネルギー・発生位置分布

前節で、DC の構成要素の想定に応じて、飛跡が決定される為に必要な出射陽子の最低エネルギーが評価できた。ここでは、パターン 1 の物質構成 (表 1) に対して、最低エネルギーを 40 MeV、パターン 2 の物質構成 (表 2) に対して、最低エネルギーを 20 MeV とし、報告 [2] の要領で陽子の発生位置、発光量、出射エネルギーの分布を評価する。シンチレータの厚みは 4 cm とし (円筒形の形状を持ち半径は 30 cm)、200 MeV の中性子はその底面の中心に位置やエネルギーの広がりを持たずに入射するとした。シンチレータ中での発光量の制限は  $ELT \geq 2.0 \text{ MeVee}$  とした。

パターン 1 の物質構成に対して、出射陽子の最低エネルギーを 40 MeV とし算出された、出射陽子の角度とエネルギー (及びこれらの相関) の分布を図 3 に、同陽子の発生位置分布を図 5 に示す。さらに、図 7 に、発光量分布と、発光量と出射陽子エネルギーの発生位置との相関を示す。

パターン 2 の物質構成に対して、出射陽子の最低エネルギーを 20 MeV とし算出された、出射陽子の角度とエネルギー (及びこれらの相関) の分布を図 4 に、同陽子の発生位置分布を図 6 に示す。さらに、図 8 に、発光量分布と、発光量と出射陽子エネルギーの発生位置との相関を示す。

今回は、DC の物質構成に応じて、陽子の飛跡を決定できる出射エネルギーの下限を 40 MeV もしくは 20 MeV としたが、クーロン多重散乱の効果を十分低く抑える事を考慮に入れた場合、これらのエネルギー下限値が妥当かどうかは未知である。この点は今後の検討事項である。

Table 1: NEOLIS DC の物質配置 (パターン1)。距離は、DC 入り口から各物質の下流面までの距離である。

#	物質	data_material ファイル名	厚み (cm)	距離 (cm)	備考
DC entrance					
				0.0	
1	マイラー	mylar.dat	0.0045	0.0045	First sense plane starts from here.
2	CFRP	CFRP.dat	0.06	0.0645	
3	空気	air.dat	2.0	2.0645	
4	CFRP	CFRP.dat	0.06	2.1245	
5	FR4	G10_FR4.dat	0.06	2.1845	
6	銅	Cu.dat	0.0018	2.1863	
7	アルゴン	Ar.dat	1.44	3.6263	P10 のアルゴン成分
8	エタン	CH4.dat	0.16	3.7863	P10 のメタン成分
9	銅	Cu.dat	0.0018	3.7881	
10	FR4	G10_FR4.dat	0.06	3.8481	
11	CFRP	CFRP.dat	0.06	3.9081	
12	空気	air.dat	2.0	5.9081	
13	CFRP	CFRP.dat	0.06	5.9681	
14	マイラー	mylar.dat	0.0045	5.9726	First sense plane up to here.
15	空気	air.dat	4.0274	10.0000	
16	マイラー	mylar.dat	0.0045	10.0045	2nd sense plane starts from here.
17	CFRP	CFRP.dat	0.06	10.0645	
18	空気	air.dat	2.0	12.0645	
19	CFRP	CFRP.dat	0.06	12.1245	
20	FR4	G10_FR4.dat	0.06	12.1845	
21	銅	Cu.dat	0.0018	12.1863	
22	アルゴン	Ar.dat	1.44	13.6263	P10 のアルゴン成分
23	エタン	CH4.dat	0.16	13.7863	P10 のメタン成分
24	銅	Cu.dat	0.0018	13.7881	
25	FR4	G10_FR4.dat	0.06	13.8481	
26	CFRP	CFRP.dat	0.06	13.9081	
27	空気	air.dat	2.0	15.9081	
28	CFRP	CFRP.dat	0.06	15.9681	
29	マイラー	mylar.dat	0.0045	15.9726	Second sense plane up to here.

Table 2: NEOLIS DC の物質配置 (パターン2)。距離は、DC 入り口から各物質の下流面までの距離である。

#	物質	data_material ファイル名	厚み (cm)	距離 (cm)	備考
DC entrance					
				0.0	
1	マイラー	mylar.dat	0.0045	0.0045	First sense plane starts from here.
2	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	0.0245	
3	空気	air.dat	2.0	2.0245	
4	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	2.0445	
5	FR4	G10_FR4.dat	0.02	2.0645	
6	銅	Cu.dat	0.0018	2.0663	
7	アルゴン	Ar.dat	1.44	3.5063	P10 のアルゴン成分
8	エタン	CH4.dat	0.16	3.6663	P10 のメタン成分
9	銅	Cu.dat	0.0018	3.6681	
10	FR4	G10_FR4.dat	0.02	3.6881	
11	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	3.7081	
12	空気	air.dat	2.0	5.7081	
13	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	5.7281	
14	マイラー	mylar.dat	0.0045	5.7326	First sense plane up to here.
15	空気	air.dat	4.0274	10.0000	
16	マイラー	mylar.dat	0.0045	10.0045	2nd sense plane starts from here.
17	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	10.0245	
18	空気	air.dat	2.0	12.0245	
19	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	12.0445	
20	FR4	G10_FR4.dat	0.02	12.0645	
21	銅	Cu.dat	0.0018	12.0663	
22	アルゴン	Ar.dat	1.44	13.5063	P10 のアルゴン成分
23	エタン	CH4.dat	0.16	13.6663	P10 のメタン成分
24	銅	Cu.dat	0.0018	13.6681	
25	FR4	G10_FR4.dat	0.02	13.6881	
26	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	13.7081	
27	空気	air.dat	2.0	15.7081	
28	GFRP	G10_FR4.dat	0.02	15.7281	
29	マイラー	mylar.dat	0.0045	15.7326	Second sense plane up to here.

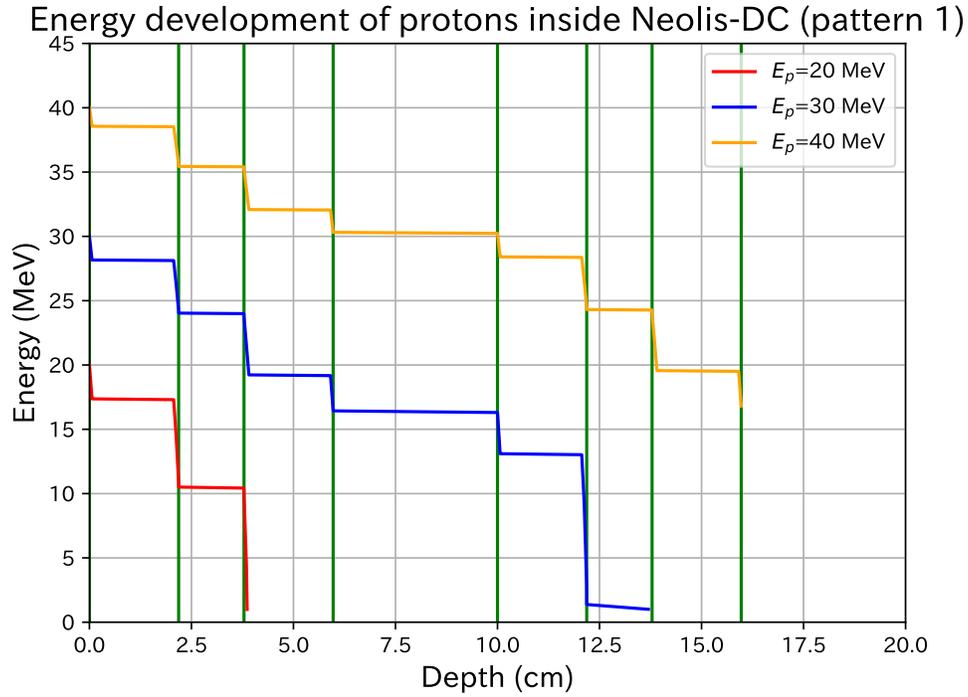


Figure 1: NEOLIS DC 中での陽子のエネルギー発展。表 1 の物質構成 (パターン 1) を想定した。DC への陽子入射エネルギーが  $E_p=20$  MeV (赤線)、30 MeV (青線)、及び 40 MeV (オレンジ線) の結果。

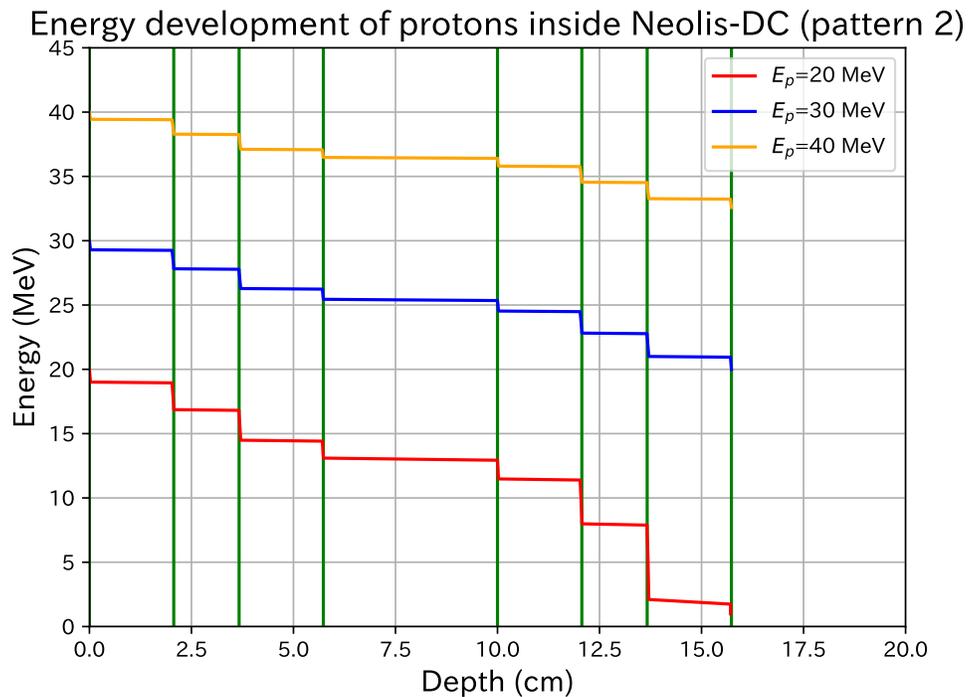


Figure 2: NEOLIS DC 中での陽子のエネルギー発展。表 2 の物質構成 (パターン 2) を想定した。線の区分けは図 1 に同じ。

### Charged particles escaping the scint. boundary (pattern 1)

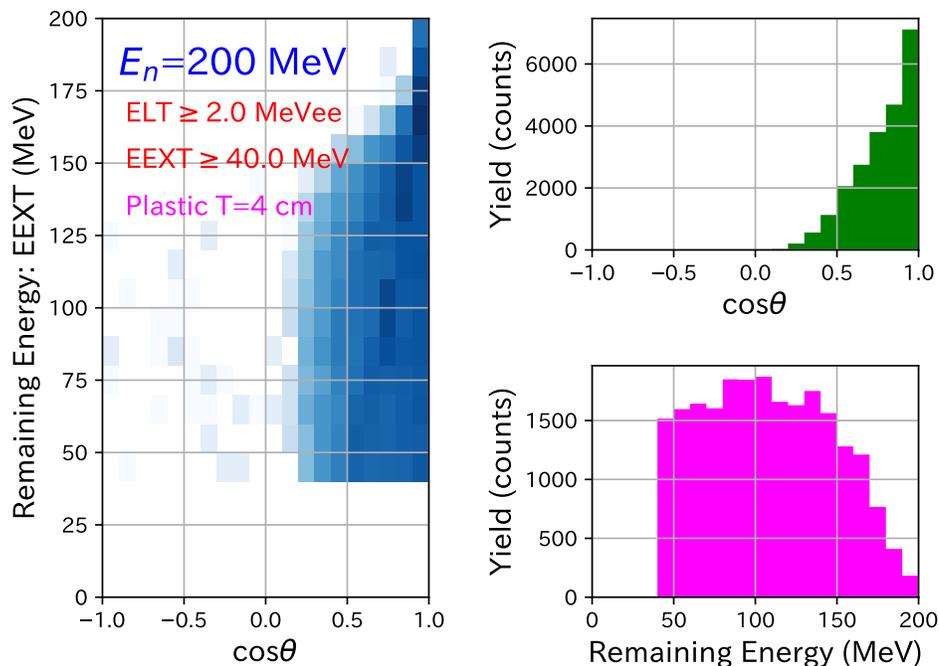


Figure 3: シンチレータから出射する荷電粒子（主に陽子）の角度分布とエネルギー分布（右パネル）。これらの相関（左パネル）も示す。プラスチックシンチレータの厚みは 4.0 cm とした。課した制約は、発光量について  $ELT \geq 2.0$  MeVee、出射陽子エネルギーについて  $EEXT \geq 40.0$  MeV である。

### Charged particles escaping the scint. boundary (pattern 2)

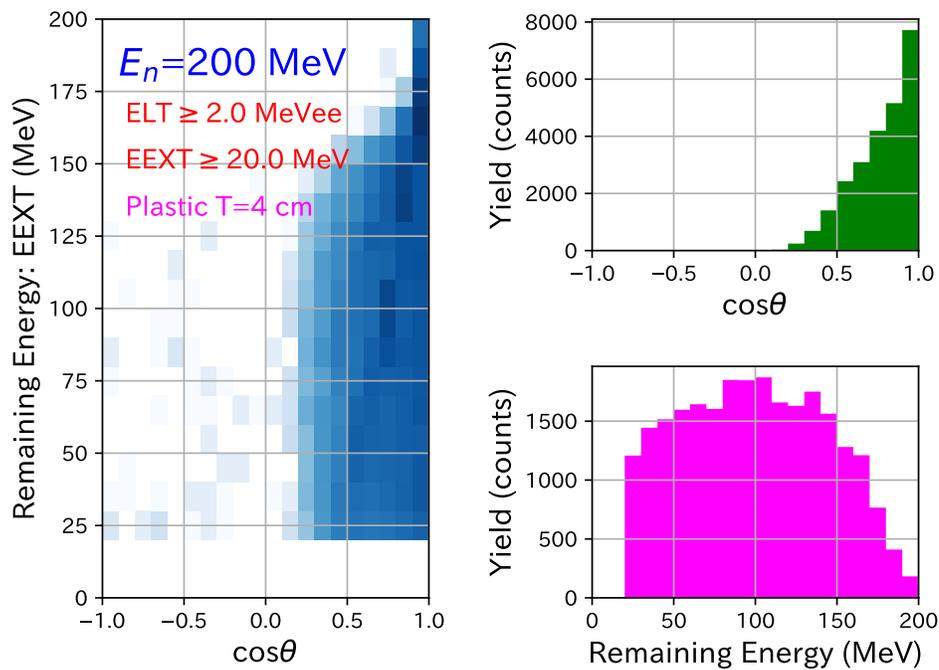


Figure 4: 図 3 に同じ。ただし、出射陽子エネルギーについて  $EEXT \geq 20.0$  MeV の制限を加えた。

### Charged particles escaping the scint. boundary (pattern 1, II)

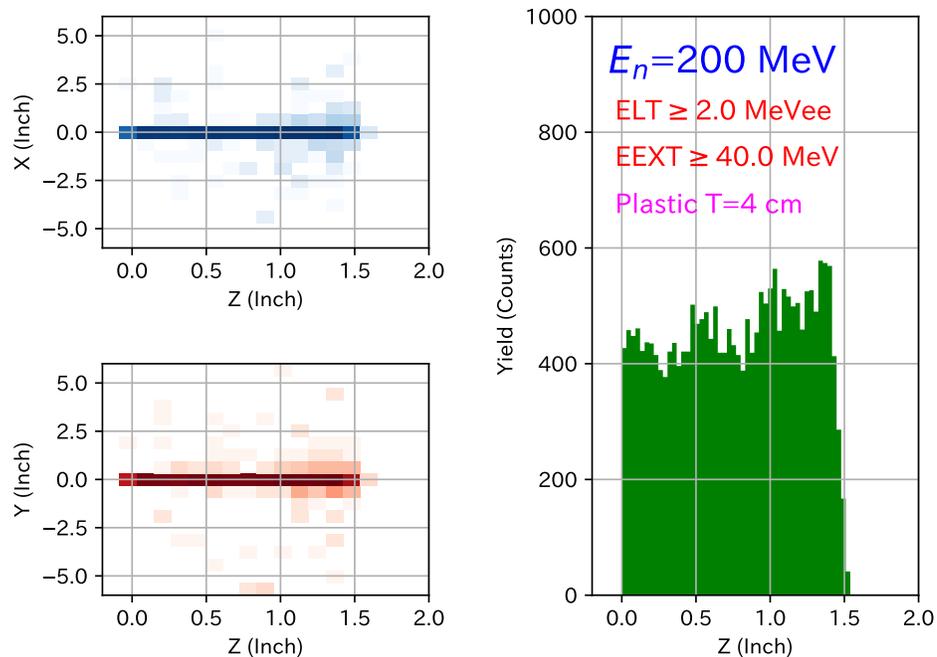


Figure 5: シンチレータから出射する荷電粒子（主に陽子）のシンチレータ中での発生位置  $Z$  の分布（右パネル）。発生位置の  $X$ - $Z$ 、 $Y$ - $Z$  相関（左パネル）も示す。緒条件は図 3 と同じ。

### Charged particles escaping the scint. boundary (pattern 2, II)

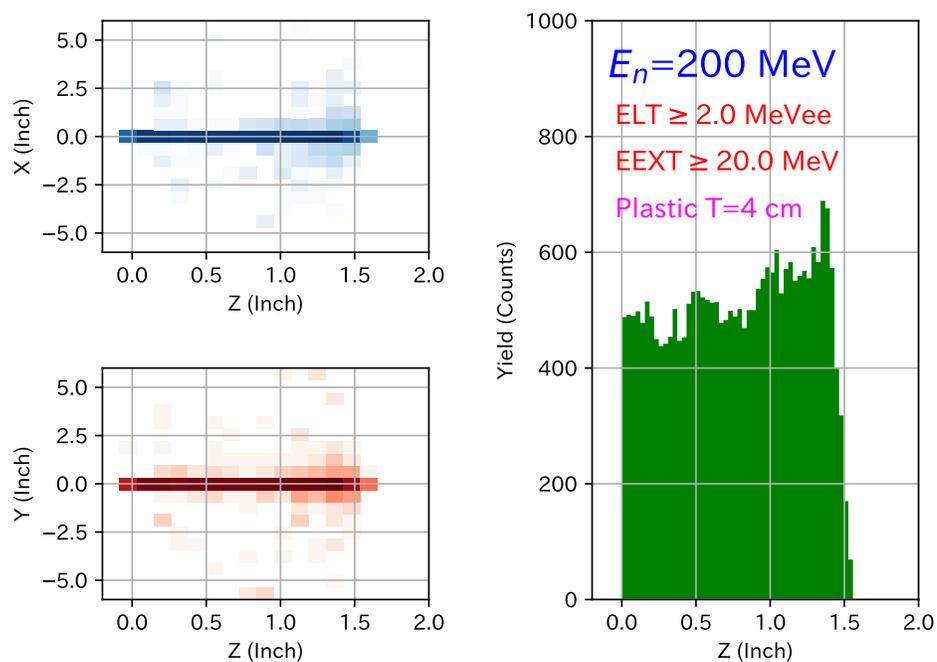


Figure 6: 図 5 に同じ。ただし、出射陽子エネルギーについて  $EEXT \geq 20.0$  MeV の制限を加えた。

Charged particles escaping the scint. boundary (pattern 1, III)

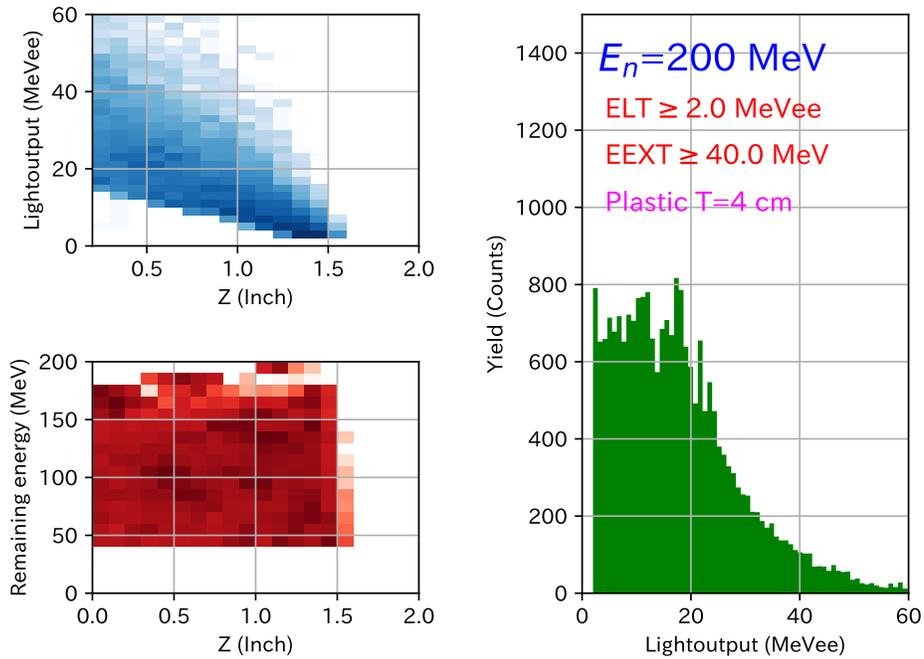


Figure 7: シンチレータから出射する荷電粒子（主に陽子）のシンチレータ中での発光量の分布（右パネル）。発光量と出射エネルギーの発生位置  $Z$  との相関（左パネル）も示す。緒条件は図 3 と同じ。

Charged particles escaping the scint. boundary (pattern 2, III)

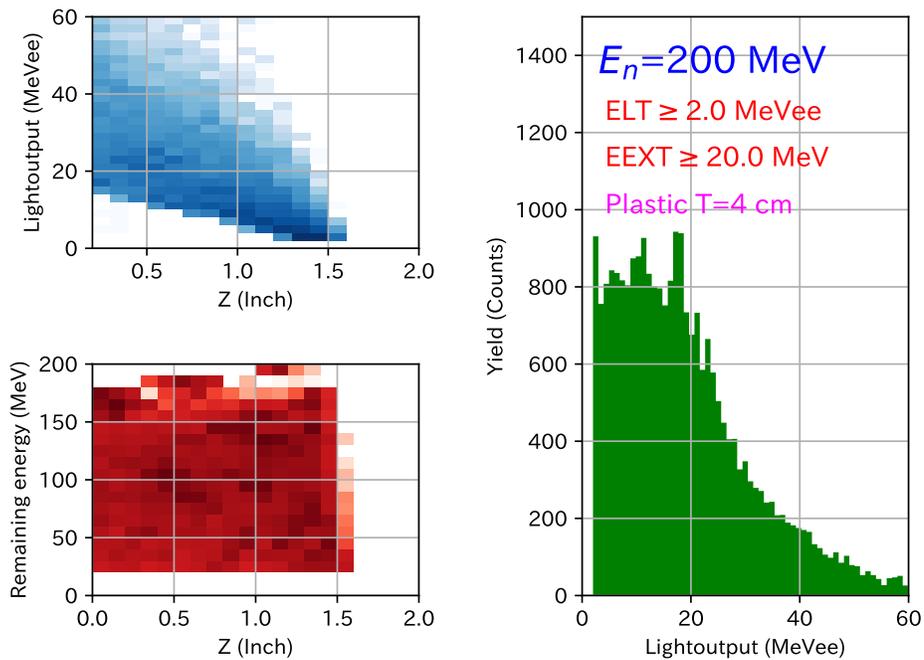


Figure 8: 図 7 に同じ。ただし、出射陽子エネルギーについて  $EEXT \geq 20.0$  MeV の制限を加えた。

## References

- [1] Interaction of protons with G10\_FR4, CFRP and other substances (Y.Satou).
- [2] Demonstrational calculations with neut (II) (Y.Satoui, Y.Makimura).