

技術報告： 実際の照射条件における E, Range, LET スペクトル

理研・産業チーム

先日ご利用下さいました 84Kr 70MeV/u E5Aコース の照射について、
技術報告をさせていただきます。

(目次)

Pg.2: 照射セットアップ

Pg.3: ビームスポットの強度分布測定

Pg.4: ビームフラックス較正

Pg.5: ビーム Range 測定

Pg.6: ExpR予想値 と 実測値の比較

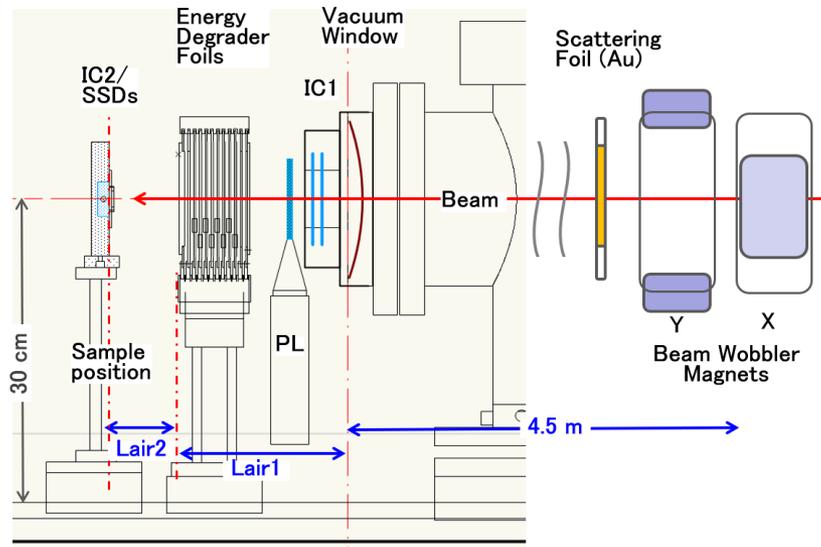
Pg.7: エネルギー検出器の較正

Pg. 8~13: 照射ビームの E, Range, LET スペクトル (N06)用

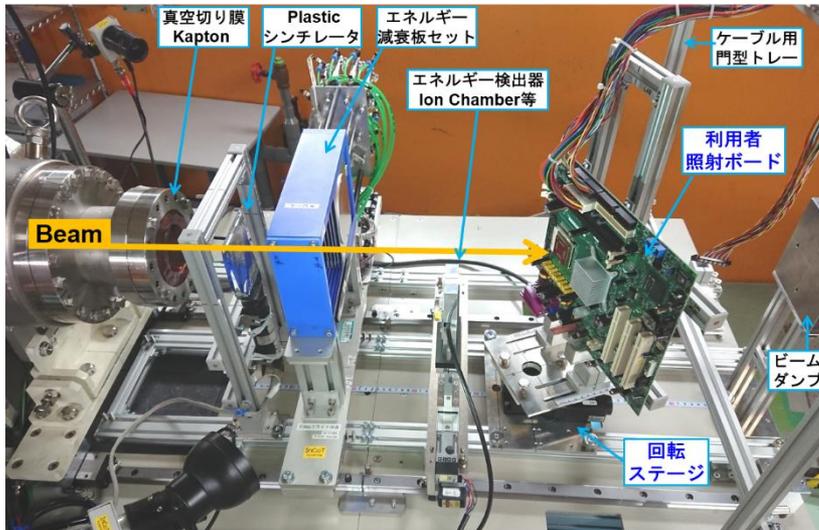
Pg.14~20: 照射ビームの E, Range, LET スペクトル (S03)用

※ これは、Kr 70MeV/u 照射に関する報告書(例)です。
利用終了後に、利用者へ提出させて頂いております。
報告書の準備には少々時間がかかります。
利用後2~3週間以内にお送りします。

以下、よろしくご査収ください。



※ ビームが通過した物質とその厚さを報告します。
この値を用いて、以降の SRIMfit 計算を行っています。



● Beam 通過物の厚さ

Beam Mon系	採用 μm
Au	45.8
Kapton	78.0
IC1.Al	14.0
IC1.mylar	25.6
PL.mylar	33.8
PL.myAl	30.0
PL.EJ212	100.0
	mm
Air1	145.0
Air2	200.0

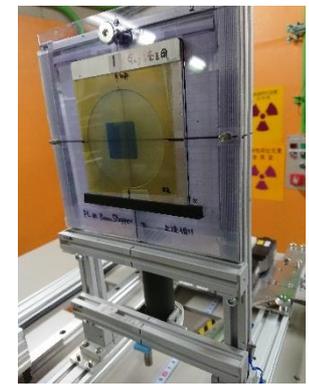
Energy Degradator (EDeg) の厚さ 材質: アルミ

Edeg Deg#	採用 μm
1	10.20
2	12.80
3	23.80
4	48.59
5	100.24
6	100.80
7	196.39
8	485.95
9	5000
A	5.48
B	975.39
C	2000

Au : 散乱膜
Kapton : 真空切り膜
IC1 : Ion Chamber (空気)
PL : Plastic シンチレータ

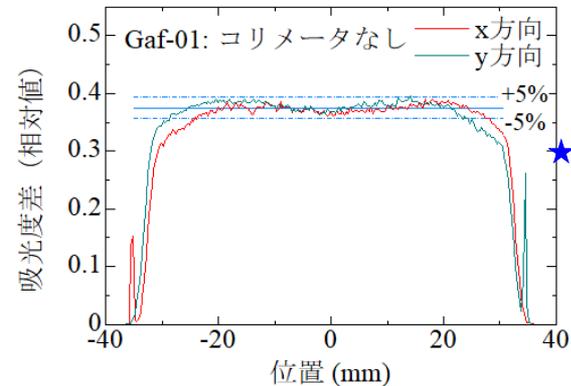
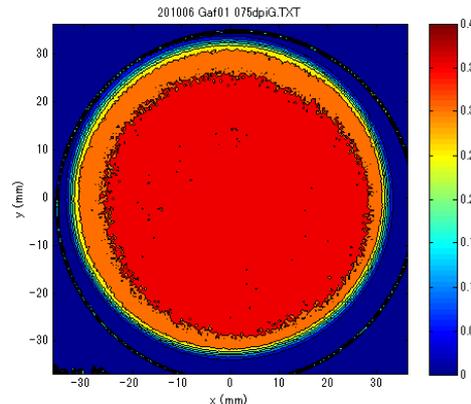
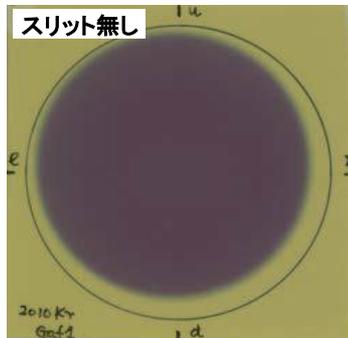
● サンプル照射位置に設置した「Gafフィルム」に照射して、ビーム強度分布を測定しました。

- ・ Run# Gaf-01 : 電離箱(IC1)無し、PLシンチレータ無し、Edeg = 0um で照射。
- ・ Run# Gaf-02 : 同上で、Edeg出口スリット □30x30mm ありで照射。 ← サンプル照射中の設定。

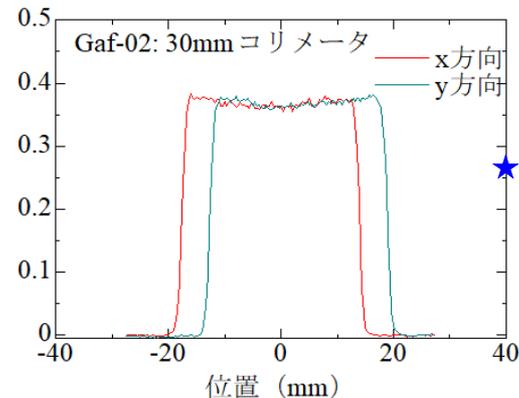
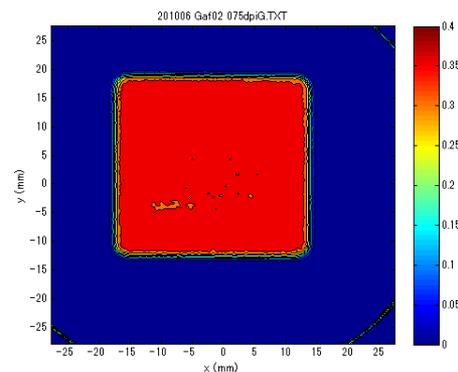
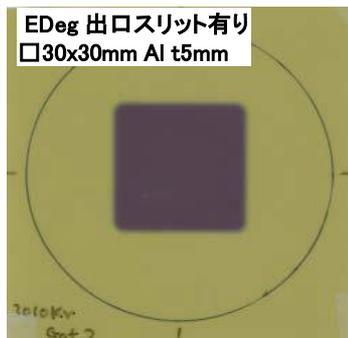


照射後のフィルム
Scanner 画像

吸光度分布



★ スリット無しの場合、
強度分布は、
直径φ50mm以内で±5%以内
でした。



★ スリット有りの場合、
サンプル照射中の設定では、
強度分布の一樣性は、
□30x30mm以内で±3%以内
でした。

使用したフィルム: Gafchromatic Film EBT3

http://r-tech-japan-web.jp/image/GAF_ALL.pdf

(Gafフィルムの参考文献)

上松、花屋、小嶋 (JAEA 高崎研)

「GAFフィルム線量計とイメージスキャナを組み合わせた、簡便なイオンビームの
2次元線量相対分布計測システム」 RADIOISOTOPES, 57 87-98 (2008)

※ これは、Gafフィルムで測定したビーム強度分布です。
必要でしたら、画像ファイルも提出いたします。

ビームフラックス較正

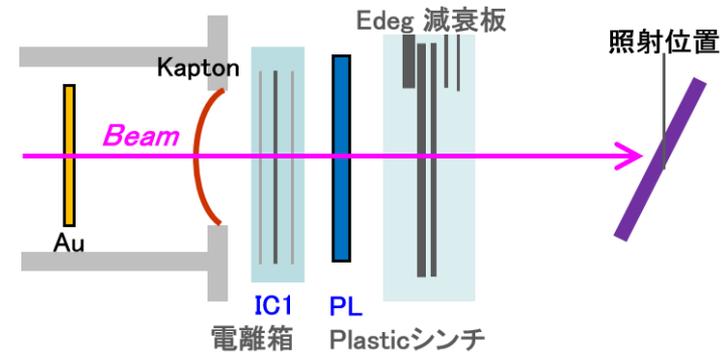
● ビームラインに常設の「ビームフラックス検出器」の較正を行いました。

ビームフラックスの強度に応じて、2種類の検出器が常設してあります。

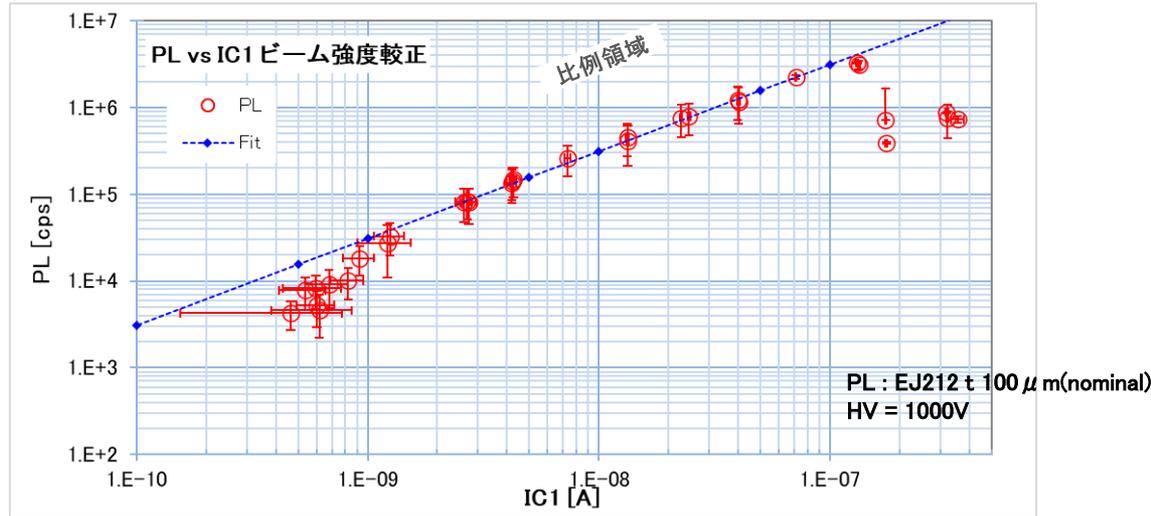
IC1: 電離箱(空気) 開口φ 50 mm : 高フラックス用

PL: Plasticシンチレータ □ 64x64 mm : 低フラックス用

加速器からのビーム量をビームアッテネータで変化させながら、これら2種類の検出器の測定値の相関を測定し、広いダイナミックレンジでフラックスを求めることができます。



IC1 vs. PL : ビーム強度相関測定



★ 2つの検出器の測定値が 比例する領域 について直線近似を用いて、次の「フラックス換算式」を求めました。

PL vs IC1 比例領域で Fit 結果	
PL [cps]	$3.119E+13 * IC1[A]$
IC1[A]	$3.201E-14 * PL[cps]$
ゼロ点を通る事を仮定してます。	
Beam照射 円面積	IC1 穴で決まる
半径 2.5cm	19.63 [cm ²]

換算式	
[個/cm ² /秒]	
=	$PL[cps] / 19.63$
=	$IC1[A] * 3.119E+13 / 19.63$
=	$IC1[A] * 1.588E+12$

※ このフラックス較正:換算式 は、ビーム調整終了後すぐに解析して、利用開始前までにお渡しています。

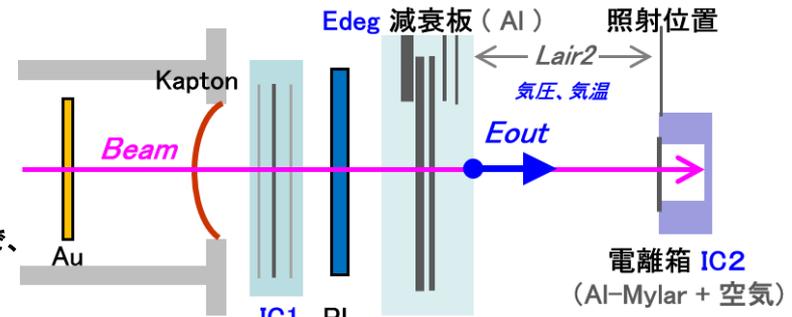
利用中に当チームのnotePCに表示されていた、フラックスモニターの値は、この換算式を用いて計算した値です。

ビームRange測定

- サンプル照射位置に設置した「電離箱 IC 2」検出器を用いて、照射位置におけるビームの飛程値 (Range) を測定しました。

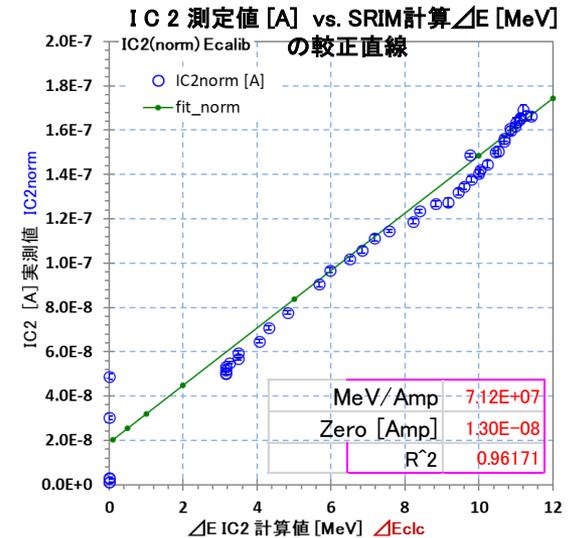
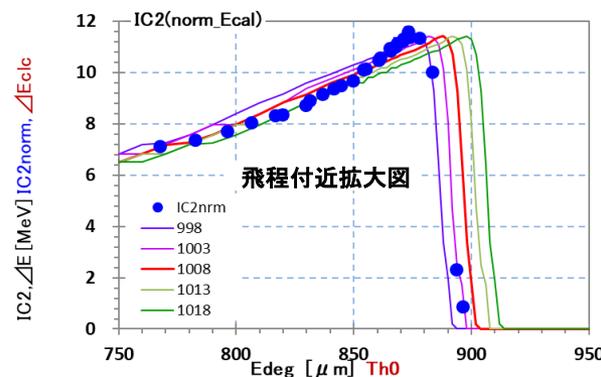
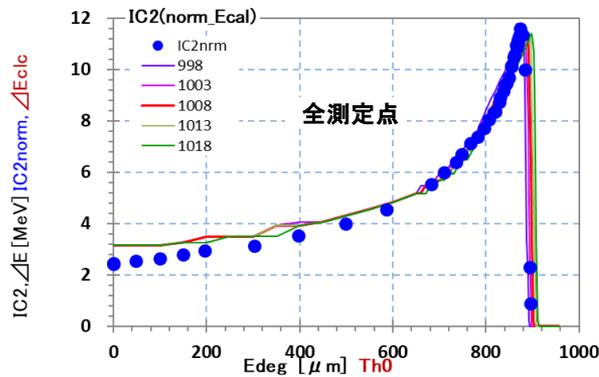
Edeg 板の厚さを変化させながら、IC 2 検出器の電流値を測定する事で、空気中に取り出したビームの照射位置における「Range 曲線」が得られます。取得した Range 曲線を、SRIM コード(*) による IC2 検出器中の ΔE 計算値と比較することで、

$ExpR [\mu m]$: $E_{out} = 0$ となる Edeg の厚さ(AI 相当Range) を求めました。



IC2	採用
Al-Mylar [μm]	4.0
空気層 [mm]	2.000

Range 曲線 : IC 2 測定点 vs. SRIMによる ΔE 計算値 の比較



- ★ 上比較図 の fitting の結果より、 $ExpR = 1008.0 [\mu m]$ を採用しました。

この $ExpR$ が決まると、今後は Edeg 出口でのビームエネルギーは次式で簡単に計算可能となります。

$$E_{out} (\text{Edeg厚} [\mu m]) [\text{MeV}] = Range^{-1} (ExpR [\mu m] - \text{Edeg厚} [\mu m])$$

- ★ 尚、 $Edeg = 0 [\mu m]$ の時の、最大ビームエネルギーは、※ この $ExpR$ 値 は、ビーム調整終了後すぐに解析して、利用開始前までにお渡ししています。

(*) SRIMコード: Stopping & Range In Matter, <http://www.srim.org/> 報告書中のエネルギー損失(ΔE)、LET値 の計算には、全て SRIM-2013 コードを用いています。



※ 左表(予想版) は、準備段階でお渡ししています。最低LET値がいくつになるかを確認しておいて下さい。

- 利用前のビーム調整時に予想していた ExpR値 に対して、前項で実測した値がどれくらい異なるかを比較しておきます。(今後のビーム調整の精度向上のために)

ExpR推定		予想版					
ビームライン常設物 ref) params		厚さ		WSnam			
Au	45.8	45.8	μ m	srim84Kr_Au			
Kapton	78.0	78.0	μ m	srim84Kr_Kapton			
IC1.Al	14.0	14.0	μ m	srim84Kr_Mylar			
IC1.mylar	25.6	25.6	μ m	srim84Kr_EJ212			
PL.EJ212	100.0	100.0	μ m	srim84Kr_Al			
PL.mylar	33.8	33.8	μ m	srim84Kr_Si			
PL.Al(mylar)	30.0	30.0	μ m	srim84Kr_Air			
Air1	145.0	145.0	mm	srim84Kr_EJ212			
Air2	200.0	200.0	mm	srim84Kr_Mylar			
AirT 気温		26.9	°C	srim84Kr_Kapton			
AirP 気圧		1013.1	hPa	srim84Kr_Si			
ThkStd		0.9769					
Beam		84Kr	A=84 Z=36				
Ebm公称		70.00	ExpR:実測	1008	<-実測値		
② δ Ebm補正 [%]		0.000	%	ΔExpR	-11.2	④	
EDeg出口まで	E	LET	RinSi	R Al	R air	LET	
	MeV/u	in Si	μ m	μ m	mm	in air	
in Vacc	70.00	9.47	1645	1452	2914	10.46	
aft Au	63.730	10.11	1408	1247	2499	11.18	
aft Kap	62.129	10.30	1352	1199	2397	11.39	
aft IC1-Al	61.666	10.35	1336	1185	2368	11.45	
aft IC1-Mylar	61.158	10.41	1318	1169	2336	11.51	
aft PL-EJ212	59.592	10.59	1262	1122	2236	11.72	
aft PL-Mylar	58.878	10.68	1239	1101	2194	11.82	
aft PL-Al(Mylar)	57.872	10.82	1207	1071	2135	11.97	
aft Air1	55.393	11.15	1128	996.8	1990	12.35	
照射物位置で							
aft Air2	51.817	11.68	1016	895	1790	12.95	

ExpR推定		実測版					
ビームライン常設物 ref) params		厚さ		WSnam			
Au	45.8	45.8	μ m	srim84Kr_Au			
Kapton	78.0	78.0	μ m	srim84Kr_Kapton			
IC1.Al	14.0	14.0	μ m	srim84Kr_Mylar			
IC1.mylar	25.6	25.6	μ m	srim84Kr_EJ212			
PL.EJ212	100.0	100.0	μ m	srim84Kr_Al			
PL.mylar	33.8	33.8	μ m	srim84Kr_Si			
PL.Al(mylar)	30.0	30.0	μ m	srim84Kr_Air			
Air1	145.0	145.0	mm	srim84Kr_EJ212			
Air2	200.0	200.0	mm	srim84Kr_Mylar			
AirT 気温		26.9	°C	srim84Kr_Kapton			
AirP 気圧		1013.1	hPa	srim84Kr_Si			
ThkStd		0.9769					
Beam		84Kr	A=84 Z=36				
Ebm公称		70.00	ExpR:実測	1008	<-実測値		
⑤ δ Ebm補正 [%]		0.480	%	ΔExpR	0.1		
EDeg出口まで	E	LET	RinSi	R Al	R air	LET	
	MeV/u	in Si	μ m	μ m	mm	in air	
in Vacc	70.34	9.44	1658	1463	2936	10.42	
aft Au	64.086	10.07	1421	1258	2522	11.13	
aft Kap	62.485	10.26	1364	1210	2420	11.34	
aft IC1-Al	62.022	10.31	1348	1196	2391	11.40	
aft IC1-Mylar	61.514	10.37	1330	1180	2358	11.47	
aft PL-EJ212	59.948	10.55	1275	1133	2259	11.67	
aft PL-Mylar	59.259	10.63	1252	1112	2216	11.76	
aft PL-Al(Mylar)	58.254	10.77	1219	1082	2157	11.92	
aft Air1	55.774	11.10	1140	1008.1	2012	12.29	
照射物位置で							
aft Air2	52.236	11.61	1029	906	1812	12.87	

① 加速器からのビームが通過する物質の厚さです。

値は、秤量値 or 公称値 ですので、ココにエラーがある可能性も十分あります。

② 加速器からのビームエネルギーが

公称値 ± 0% の場合、

③ が、ExpR の予想値でした。

④ が、ExpR の予想値 と 実測値の「差」です。 → Al 相当厚さで 11.2 μm 厚かったです。

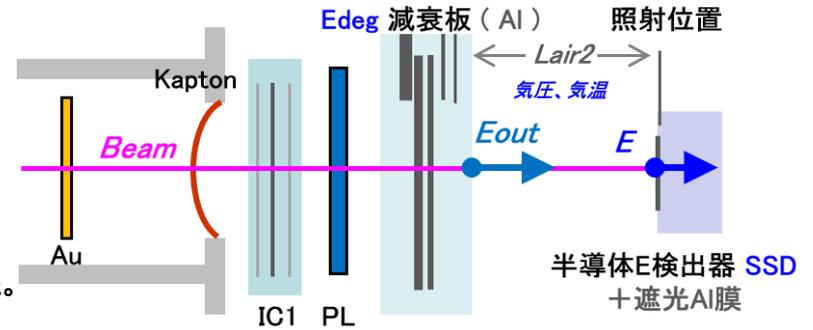
⑤ は、このズレを、加速器からの真空中のビームエネルギーの違いと思った場合。 → エネルギー相当で 0.480% 高かったです。

★ 加速器のエネルギーは、通常は公称値±0.1%程度ですので、今回のズレは、①の値 若しくは SRIM計算自体にも原因がありそうです。いずれにせよ、「実測値」を用いて以降の解析を行っています。

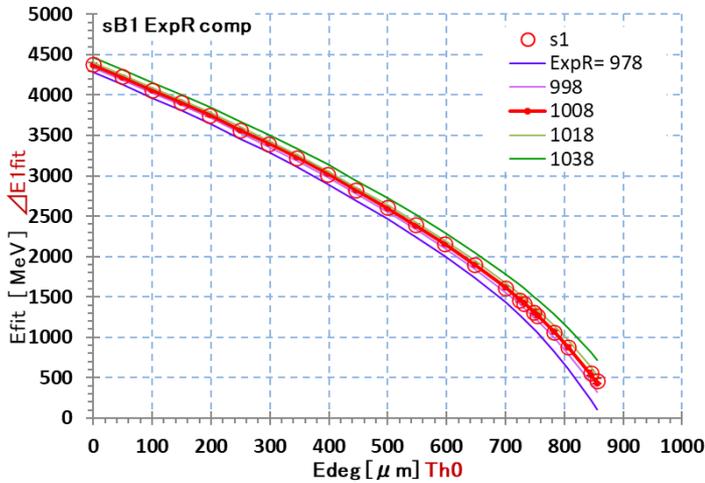
エネルギー検出器の較正

- 照射位置に設置した「半導体エネルギー検出器 SSD」の、エネルギー較正を空気中で行いました。

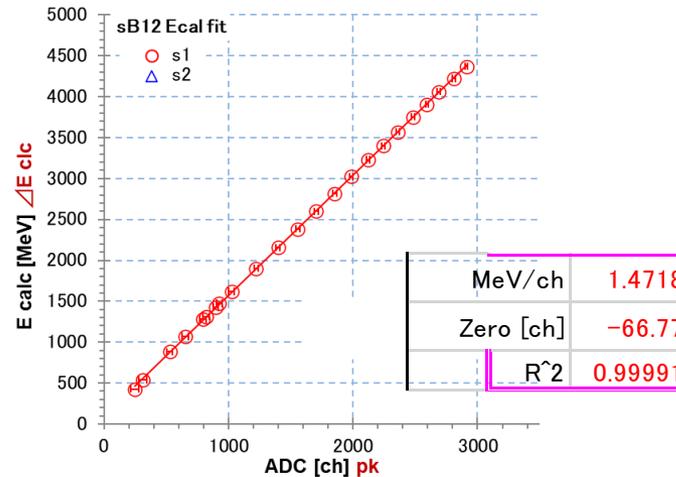
Edeg 板の厚さを変化させて、SSD 検出器でエネルギースペクトルを測定しました。前項で求めた ExpR 値で、Edeg 出口位置でのビームエネルギー Eout (Edeg厚) が簡単に求まります。更にその下流にあるビーム通過物質(空気 Lair2, SSD遮光膜) 中のエネルギー損失を計算し、SSD 検出器に入射されるビームエネルギー E_{ssd} (Edeg厚) が求まります。この値と実測値を比較してエネルギー較正を行いました。



SSD 検出器のエネルギー較正曲線
SSD 測定点 vs. SRIMによる E (Edeg厚) 計算値の比較



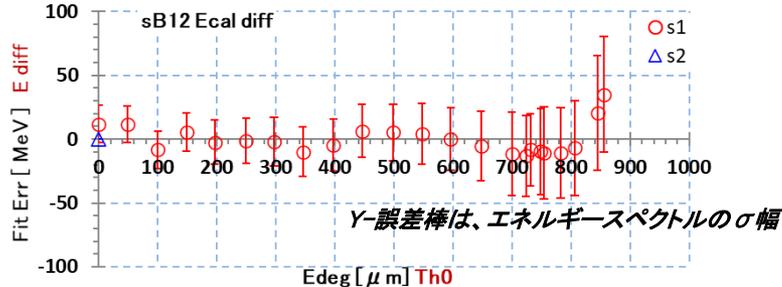
SSD 検出器のエネルギー較正直線
SSD 測定値 ADC [ch] vs. E (Edeg厚) 計算値の比較



	採用
ssdB12	μm
遮光Al	4.72
dead11	0
空乏層	2050

この SSD 検出器 (sB1) は、厚さ約 2000 μm で、ビームはこの検出器の中で完全に停止する厚さです。

上図, E 計算値曲線からの残差



★ 上図の直線 fitting の結果より、「SSD 検出器の E 較正式」

$$E \text{ [MeV]} = 1.4718 * (\text{ADC [ch]} + 66.77)$$

を求めました。この較正式を後述のエネルギー、LET、Range スペクトル 求める際に適用しました。

※ このエネルギー較正には、解析に時間がかかるので、利用終了後にご報告しています。

※ pg.5 で求めた ExpR 値 を用いて、
この表を計算して、
利用開始前までにお渡ししています。

● 利用開始時に配布した Edeg厚さ設定値の一覧表です。

《本シートの参照パラメータ》		Al-Edeg の組合せ候補										チップ表面 設定希望値			感応深さ 290.0 [μm] 位置での値											
WS.head	BeamA	Al-Edeg 組合せ (Ptn文字)										EAD2	エネルギー	LET	残Rng	照射	角度	深さ	角度換算した	LET	残Rng					
Mat	SRIM Fit.W.S.name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	μm	μm	MeV/u	MeV/u	MeV	in Si	μm	θ	μm	MeV/u	MeV	in Si	in Si
84 Kr	SRIM Fit.W.S.name																				0度	290.00	13.11	1101.4	27.57	142.23
Si	srims84Kr_Si	1	2	3	4	0	6	7	0	0	0	0	0	392.6	615.4	40.84	36.44	3061.0	14.82	585.78	0度	290.00	22.88	1922.0	19.87	295.78
Al	srims84Kr_Al	0	0	0	0	5	6	7	0	0	0	0	0	397.4	610.6	40.63	36.20	3041.2	14.88	579.92	0度	290.00	22.56	1894.8	20.05	289.92
Air	srims84Kr_Air	1	2	3	4	5	0	7	0	0	A	0	0	397.5	610.5	40.63	36.20	3040.9	14.88	579.83	0度	290.00	22.55	1894.4	20.05	289.83
IC測定で求めた	ExpR	0	2	3	4	5	6	0	0	0	A	0	0	291.7	716.3	45.03	40.90	3436.0	13.71	699.32	45度	410.12	22.52	1891.5	20.07	289.20
1008.0 μm		1	2	3	4	0	7	0	0	0	0	0	0	291.8	716.2	45.03	40.90	3435.8	13.71	699.24	45度	410.12	22.51	1891.1	20.08	289.12
		1	2	3	4	5	6	0	0	0	0	0	0	296.4	711.6	44.84	40.71	3419.2	13.75	694.11	45度	410.12	22.23	1867.3	20.24	283.99
空気層	Air1	0	2	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	136.8	871.2	50.93	47.16	3961.7	12.44	872.98	60度	580.00	22.73	1909.0	19.95	292.98
145.0 mm	Air2	0	2	3	0	6	0	0	0	0	0	0	0	137.4	870.6	50.91	47.14	3959.9	12.44	872.37	60度	580.00	22.69	1906.2	19.97	292.37
200.0 mm		1	0	3	0	5	0	0	0	0	A	0	0	139.7	868.3	50.82	47.05	3952.5	12.46	869.82	60度	580.00	22.55	1894.4	20.05	289.82
気温	26.9 °C	0	2	0	4	0	0	0	8	0	A	0	0	552.8	455.2	33.52	28.36	2382.2	17.40	403.10	0度	290.00	10.79	906.1	30.27	113.10
気圧	1013.1 hPa	1	2	0	4	0	0	0	8	0	0	0	0	557.5	450.5	33.29	28.10	2360.7	17.49	397.78	0度	290.00	10.33	868.0	30.85	107.78
		0	0	3	4	0	0	0	8	0	0	0	0	558.3	449.7	33.25	28.06	2357.1	17.51	396.88	0度	290.00	10.26	861.5	30.95	106.88
Edeg	AL厚さ																				45度	410.12	0.00	0.0	#N/A	0.00
Deg#	μm																				60度	580.00	11.29	948.4	29.66	119.24
1	10.20													10.5	878.2	30.70	109.19				45度	410.12	11.33	952.0	29.61	119.77
2	12.80	0	2	3	0	5	6	7	0	0	A	0	0	439.5	568.5	38.81	34.10	2864.3	15.48	529.89	45度	410.12	10.89	914.7	30.15	114.34
3	23.80	1	2	3	0	5	6	7	0	0	0	0	0	444.2	563.8	38.60	33.87	2844.9	15.55	524.46	45度	410.12	10.73	901.0	30.34	112.36
4	48.59	0	0	0	4	5	6	7	0	0	0	0	0	446.0	562.0	38.52	33.78	2837.7	15.58	522.48	45度	410.12	10.85	911.5	30.19	113.89
5	100.24																				60度	580.00	0.00	0.0	#N/A	0.00
6	100.80																				60度	580.00	11.29	948.4	29.66	119.24
7	196.39	1	2	3	4	0	0	7	0	0	0	0	0	291.8	716.2	45.03	40.90	3435.8	13.71	699.24	60度	580.00	10.87	913.1	30.17	114.11
8	485.95	1	2	3	4	5	6	0	0	0	0	0	0	296.4	711.6	44.84	40.71	3419.2	13.75	694.11	60度	580.00	10.85	911.5	30.19	113.89
9	5000	0	0	0	0	5	0	7	0	0	0	0	0	296.6	711.4	44.84	40.70	3418.5	13.75	693.89	60度	580.00	10.85	911.5	30.19	113.89
A	5.48																				0度	290.00	8.38	704.1	33.48	85.72
B	975.39																				0度	290.00	5.31	446.0	38.02	54.56
C	2000	1	2	0	0	5	0	0	8	0	0	0	0	609.2	398.8	30.68	25.22	2118.2	18.69	339.92	0度	290.00	4.82	404.7	38.72	49.92
		1	2	0	0	6	0	8	0	0	0	0	0	609.8	398.3	30.65	25.18	2115.5	18.71	339.29	0度	290.00	4.75	399.1	38.81	49.29
																					0度	290.00	8.38	704.1	33.48	85.72
		1	2	3	0	0	6	0	0	0	0	0	0	147.6	860.4	50.53	46.75	3927.1	12.52	861.17	0度	290.00	35.85	3011.5	14.97	571.17
		0	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	148.8	859.2	50.49	46.70	3923.2	12.52	859.82	0度	290.00	35.80	3006.9	14.99	569.82
		0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	149.4	858.6	50.46	46.68	3921.4	12.53	859.20	0度	290.00	35.77	3004.9	14.99	569.20

実測点No
《1》Edeg = 0 μm

《3》
※ 利用終了時に、
この表で実際に照射した
Edeg の組合せを
伺います。MT終了までに
時間の余裕があれば、
以降のようにスペクトルを
実測して報告します。

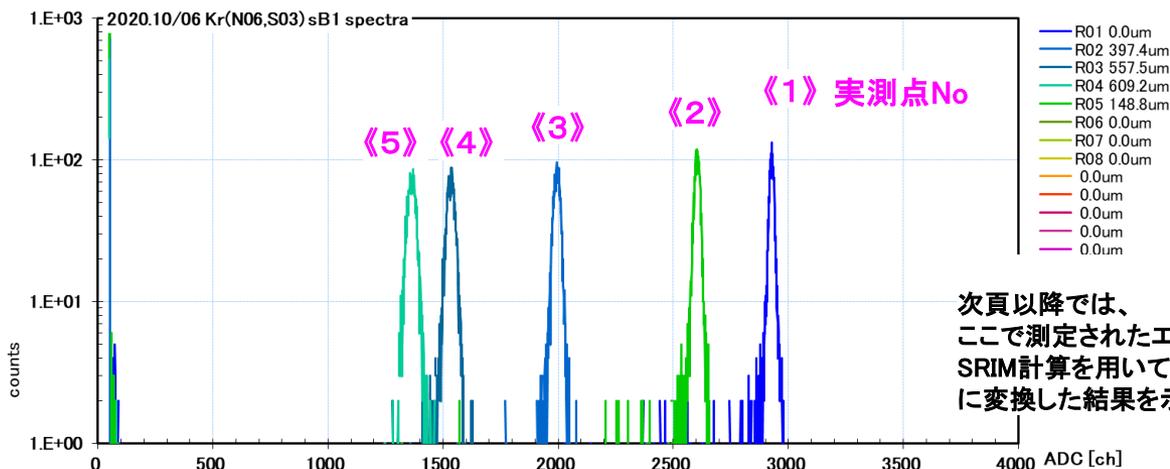
《4》

《1》~《5》について
実測しました

《5》

《2》

● SSD検出器で測定した エネルギースペクトル

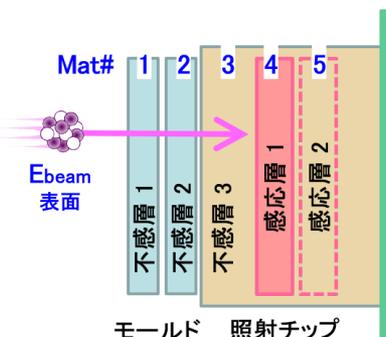


※ 利用終了時に実測した実際の試料照射位置における、ビームのエネルギースペクトルです。pg.8 で指定して頂いた Edeg 組合せについて、測定させていただきます。pg.7 で求めた SSD検出器の較正式を用いて、エネルギー値に変換し、その後、頁下の説明にあるように、SRIMfit 計算シートを用いて、E → LET, Range 「スペクトル変換」を行っています。

次頁以降では、ここで測定されたエネルギースペクトルを元に、SRIM計算を用いて、LETスペクトル、Rangeスペクトルに変換した結果を示します。

● スペクトルの SRIM計算に用いた 「物質厚さ」 について

Mat	SRIM Fit W.S.name	厚さ[μm]	角度	eff.Thick
1 Epoxy	srilm84Kr_Epoxy	0.0	0.0	0.0
2 SiO2	srilm84Kr_SiO2	0.0		0.0
3 Si	srilm84Kr_Si	290.00		290.0
4 Si	srilm84Kr_Si	20.0		20.0
5 Si	srilm84Kr_Si	0.0		0.0



「5層構造」を仮定して計算しています。「モールド材」として、不感層 1, 2 を考え、2種類の材質まで考慮。「照射チップ」として、不感層 3 と 感応層 1, 2 を考え、多層構造チップの計算も可能です。

※ $\angle E$ 計算に考慮しない層は、厚さ = 0 μm で指定します。
 ※ 照射角度による斜め入射の effective thickness を考慮しています。

Excel (SRIMfit) シートでの計算(例)

gnuplot#1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
生データ	試料表面で				不感層1	不感層2	不感層3	感応層1表面で		感応層2表面で		感応層2表面(出口)で								
sum= 8028					通過後	通過後	通過後	= aft_Mat3												
ADC	生Data	E表面	LET表面	Rng表面	aft_Mat1	aft_Mat2	aft_Mat3	E感応層1	LET感応	Rng感応	E感応層2	LET感応	Rng感応	E感応層2出	LET感応	Rng感応	E感応層3出	LET感応	Rng感応	
ch	counts	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV/u	MeV/u	MeV/u	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm
2927	82	4406.2	52.454	11.57	1035.5	52.454	52.454	52.090	4375.6	52.090	11.63	1024.2	4321.2	51.443	11.74	1004.2	4266.8	50.796	11.84	984.2
2928	133	4407.6	52.472	11.57	1036.0	52.472	52.472	52.108	4377.0	52.108	11.63	1024.8	4322.7	51.460	11.74	1004.8	4268.3	50.813	11.84	984.8
2929	94	4409.1	52.489	11.57	1036.6	52.489	52.489	52.125	4378.5	52.125	11.63	1025.3	4324.1	51.478	11.73	1005.3	4269.8	50.831	11.84	985.3

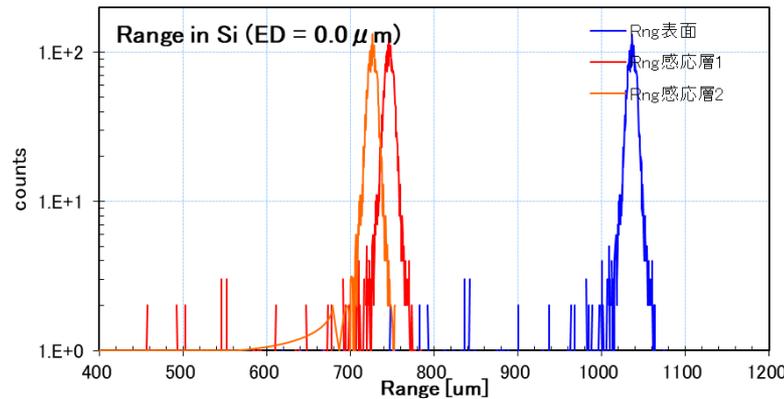
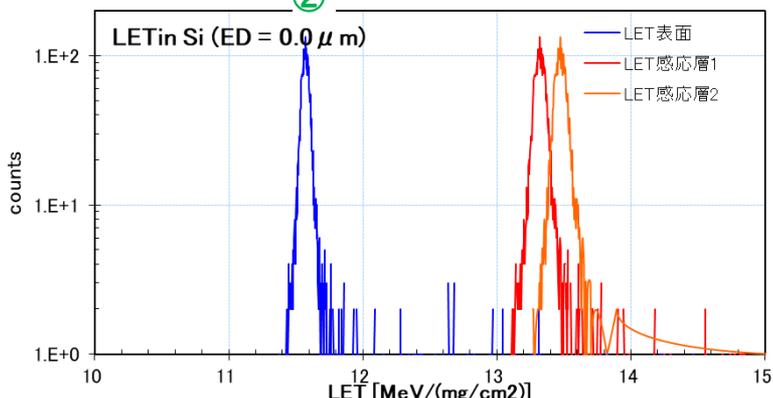
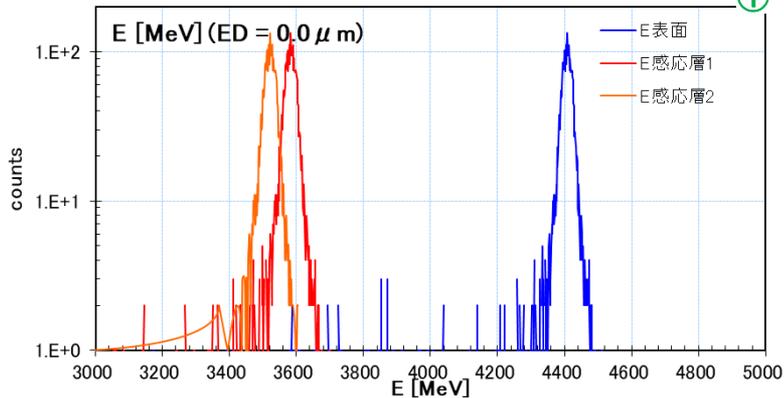
ADC[ch] → E[MeV] に変換 不感層1～3 通過後の E 計算 → 感応層1表面(1の入口) → 感応層2表面(1の出口) → 感応層3表面(2の出口)

RunName=	scnEDssd03-0001.dmp	R01_00度 LETmin
EDDeg =	0.0 μm	EDptn 000000000000

Mat	SRIM Fit.W.S.name		厚さ[μm]	角度	eff.Thick
1 Epoxy	srin84Kr_Epoxy	不感層1=無し	0.0	0.0	0.0
2 SiO2	srin84Kr_SiO2	不感層2=無し	0.0		0.0
3 Si	srin84Kr_Si	不感層3	290.00		290.0
4 Si	srin84Kr_Si	感応層1	20.0		20.0
5 Si	srin84Kr_Si	感応層2=無し	0.0		0.0

生データ	試料表面で				感応層1表面で				感応層2表面で				感応層2裏面(出口)で				
fit_生Data	fit_E表面	fit_LET表面	Rng表面	E感応層1	fit_LET感応層1	g感応層1	E感応層2	fit_LET感応層2	g感応層2	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出			
counts	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	
X0 =	2928.2	4407.9	52.475	11.57	1036.1	3582.5	42.649	13.32	746.1	3521.1	41.918	13.47	726.1	3457.9	41.165	13.64	706.1
sg =	10.5	15.4	0.184	0.03	5.7	17.4	0.207	0.04	5.7	17.5	0.208	0.04	5.7	18.3	0.217	0.05	5.7
a =	103.5	103.5	103.5	103.5	103.5	103.5	103.5	103.5	103.5	103.3	103.3	102.9	103.5	103.5	103.5	103.5	103.5

下記スペクトルの Gaussian Fit の結果値です。



- ① 不感層1~3を通過後、「感応層1の入口位置」でのLET値です。
- ② 感応層1を通過後、「感応層1の出口位置」でのLET値です。
- ★ 今回のビームの感応層1入口位置での **最小 LET値 = 13.32 ± (σ幅 0.04)** でした。

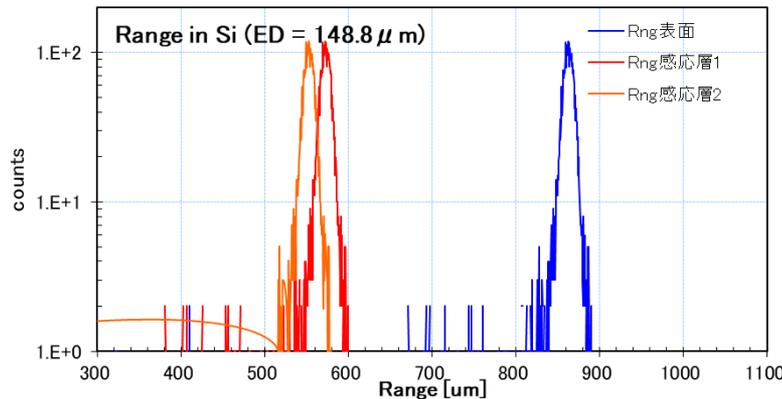
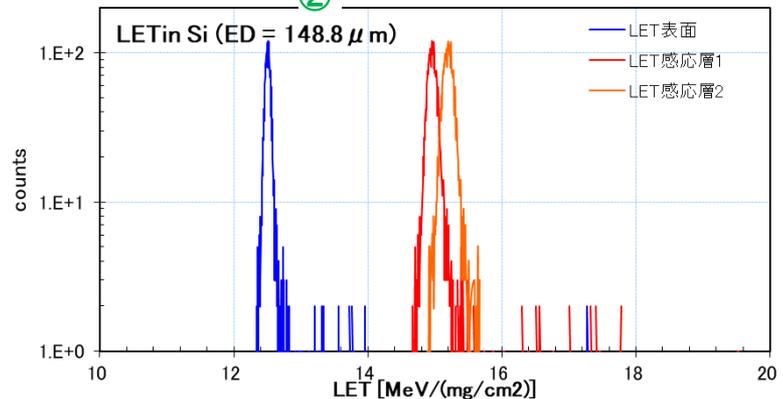
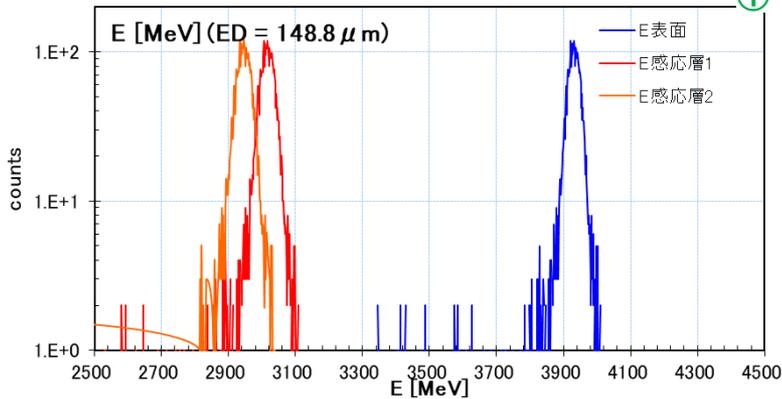
※ この例では、不感層(Si)が 290μmと厚いので、試料「表面」での E スペクトルは、感応層1 に到達するまでに E がかなり減衰していることがわかります。それに伴い、LET値も大きくなっています。

(注) これらのスペクトルは、ヒストグラムではなく「折れ線グラフ」です。各 ADC [ch] 毎に計算した値を繋いだ線ですので、binning サイズが一定ではありません。

RunName=	scnEDssd03-0008.dmp	R03.00度 LET15
EDeg =	148.8 μm	EDpnt 000450000000

Mat	SRIM Fit.W.S.name		厚さ[μm]	角度	eff.Thick
1 Epoxy	srin84Kr_Epoxy	不感層1=無し	0.0	0.0	0.0
2 SiO2	srin84Kr_SiO2	不感層2=無し	0.0		0.0
3 Si	srin84Kr_Si	不感層3	290.00		290.0
4 Si	srin84Kr_Si	感応層1	20.0		20.0
5 Si	srin84Kr_Si	感応層2=無し	0.0		0.0

生データ	試料表面で				感応層1 表面で				感応層2 表面で				感応層2 裏面(出口)で				
fit_生Data	fit_E表面	fit_LET表面	Rng表面	E感応層1	fit_LET感応層1	g感応層1	E感応層2	fit_LET感応層2	g感応層2	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出					
counts	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	
X0 =	2604.4	3931.3	46.802	12.51	862.6	3016.2	35.907	14.96	572.6	2945.7	35.068	15.20	552.6	2874.0	34.215	15.45	532.6
sg =	12.6	18.5	0.220	0.04	6.3	21.7	0.259	0.07	6.3	22.6	0.269	0.08	6.3	22.6	0.269	0.08	6.3
a =	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9	105.5	105.5	104.8	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9



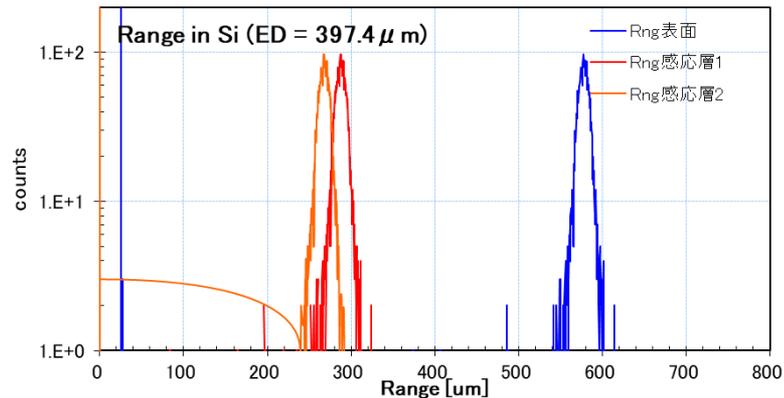
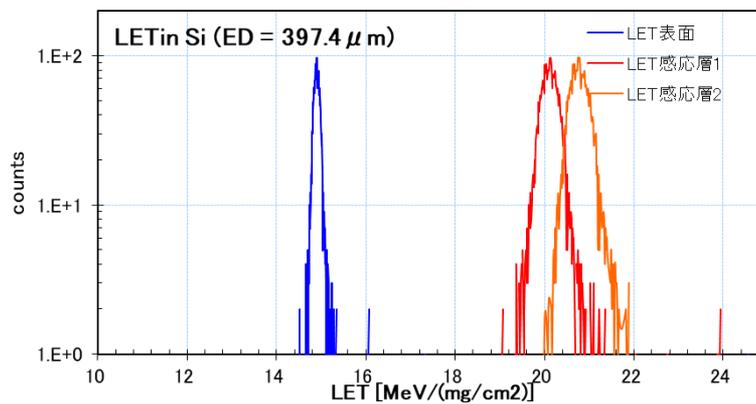
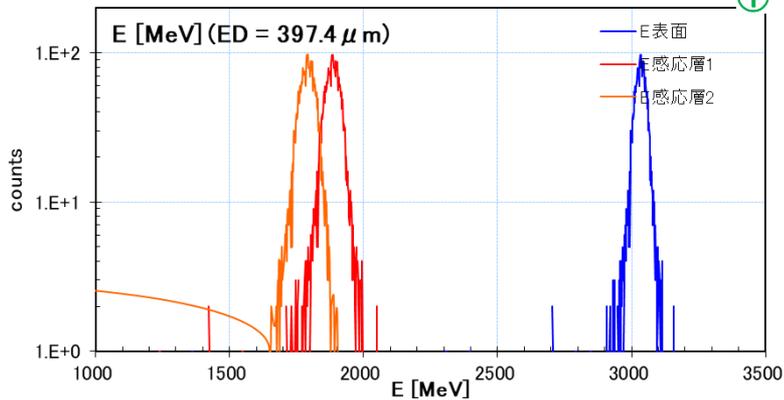
- ① 目標 LET = 15 に対して、実測では 14.96 ± σ 0.07 でした。
- ② 「感応層1の 出口位置」では、15.20 ± σ 0.08 に変化しています。

(注) これらのスペクトル計算では、物質通過によるエネルギーストラグリングを考慮していません。よって実際には、この計算値より「幅が広がっている」等です。

RunName=	scnEDssd03-0005.dmp	R02.00度 LET20
EDeg =	397.4 μm	EDptn 0000567000000

Mat	SRIM Fit.W.S.name		厚さ[μm]	角度	eff.Thick
1 Epoxy	srin84Kr_Epoxy	不感層1=無し	0.0	0.0	0.0
2 SiO2	srin84Kr_SiO2	不感層2=無し	0.0		0.0
3 Si	srin84Kr_Si	不感層3	290.00		290.0
4 Si	srin84Kr_Si	感応層1	20.0		20.0
5 Si	srin84Kr_Si	感応層2=無し	0.0		0.0

生データ	試料表面で				感応層1表面で				感応層2表面で				感応層2裏面(出口)で				
fit_生Data	fit_E表面	fit_LET表面	Rng表面	E感応層1	fit_LET感応層1	g感応層1	E感応層2	fit_LET感応層2	g感応層2	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出			
counts	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	
X0 =	1994.8	3034.2	36.122	14.90	577.9	1885.3	22.445	20.11	287.9	1791.4	21.326	20.77	267.9	1693.6	20.162	21.52	247.9
sg =	15.1	22.2	0.264	0.07	6.5	30.3	0.361	0.20	6.5	31.3	0.372	0.23	6.5	32.6	0.388	0.26	6.5
a =	83.8	83.8	83.8	83.7	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9	84.0	84.0	84.4	83.9	84.0	84.0	84.2	83.9

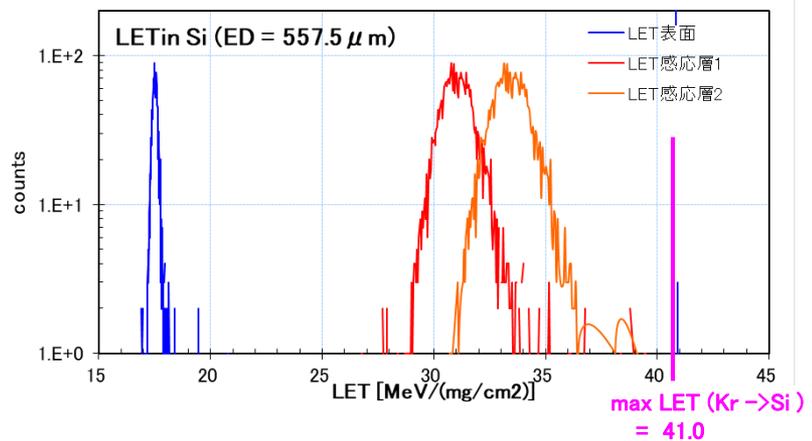
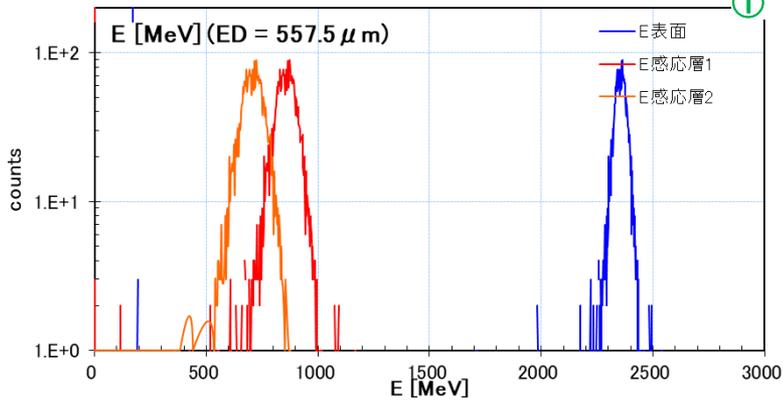


① 目標 LET = 20 に対して、実測では 20.11 ± σ0.20 でした。

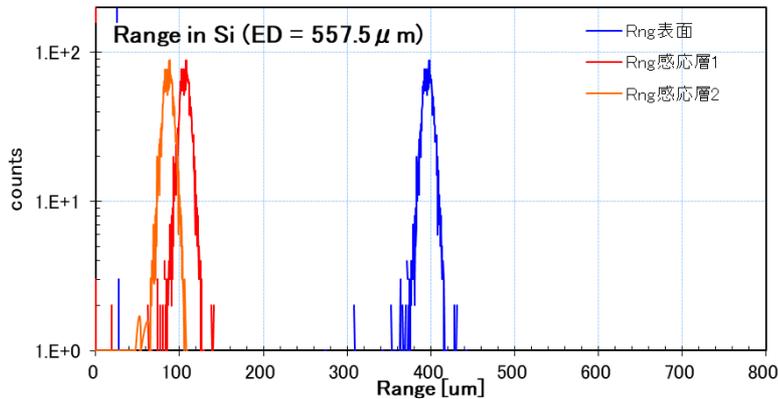
RunName=	scnEDssd03-0006.dmp	R03.00度_LET30
EDeg =	557.5 μm	EDptn 1204000800000

Mat	SRIM Fit.W.S.name		厚さ[μm]	角度	eff.Thick
1 Epoxy	srin84Kr_Epoxy	不感層1=無し	0.0	0.0	0.0
2 SiO2	srin84Kr_SiO2	不感層2=無し	0.0		0.0
3 Si	srin84Kr_Si	不感層3	290.00		290.0
4 Si	srin84Kr_Si	感応層1	20.0		20.0
5 Si	srin84Kr_Si	感応層2=無し	0.0		0.0

生データ	試料表面で				感応層1表面で				感応層2表面で				感応層2裏面(出口で)				
fit_生Data	fit_E表面	fit_LET表面	Rng表面	E感応層1	fit_LET感応層1	g感応層1	E感応層2	fit_LET感応層2	g感応層2	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出	counts	MeV	MeV/u	LET	μm
X0 =	1533.9	2355.8	28.045	17.51	396.6	858.7	10.222	31.01	106.6	709.4	8.445	33.41	86.6	548.2	6.526	36.21	66.6
sg =	18.0	26.5	0.316	0.11	6.6	47.1	0.561	0.72	6.6	50.8	0.604	0.85	6.6	55.1	0.656	0.98	6.6
a =	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.4	73.2	73.1	73.1	73.0	73.2	73.2	73.2	73.3	73.2



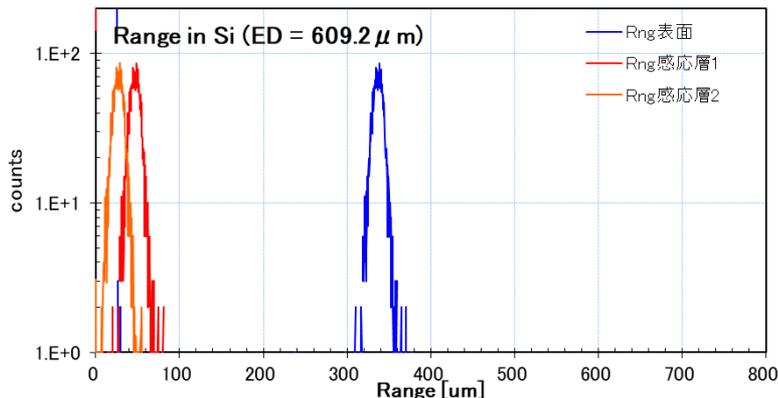
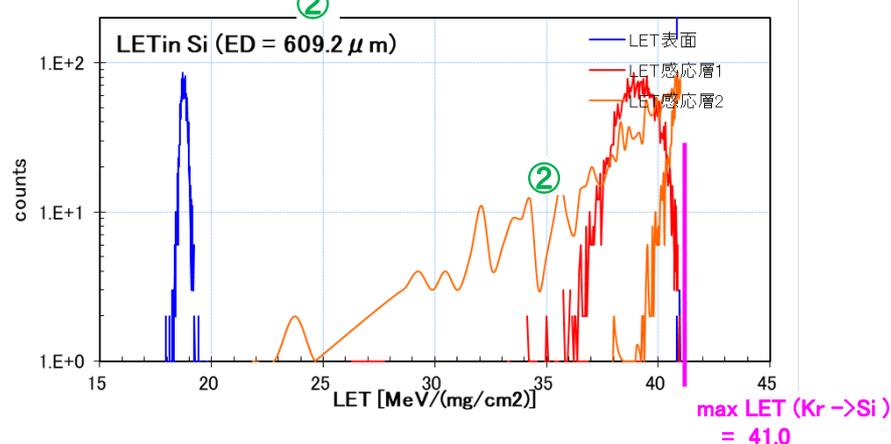
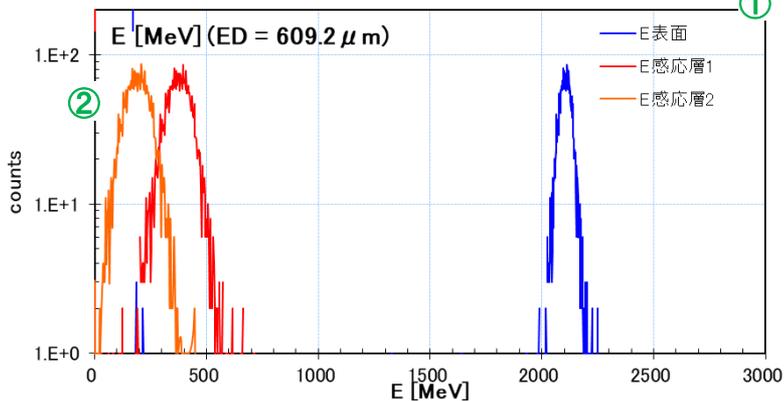
① 目標 LET = 30 に対して、実測では 31.01 ± σ0.72 でした。



RunName=	scnEDssd03-0007.dmp	R03.00度 LET38
EDeg =	609.2 μm	EDptn 1200500800000

Mat	SRIM Fit.W.S.name		厚さ[μm]	角度	eff.Thick
1 Epoxy	srilm84Kr_Epoxy	不感層1=無し	0.0	0.0	0.0
2 SiO2	srilm84Kr_SiO2	不感層2=無し	0.0		0.0
3 Si	srilm84Kr_Si	不感層3	290.00		290.0
4 Si	srilm84Kr_Si	感応層1	20.0		20.0
5 Si	srilm84Kr_Si	感応層2=無し	0.0		0.0

生データ	試料表面で				感応層1表面で				感応層2表面で				感応層2裏面(出口)で			
fit_生Data	fit_E表面	fit_LET表面	Rng表面	E感応層1	fit_LET感応層1	g感応層1	E感応層2	fit_LET感応層2	g感応層2	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出				
counts	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm
X0 =	1363.9	2105.6	25.067	18.76	337.0	377.3	4.492	39.09	47.0	191.7	2.282	27.0	37.0	0.440		7.5
sg =	19.0	27.9	0.332	0.15	6.5	58.4	0.695	0.90	6.5	60.6	0.721	6.5	34.7	0.413		5.9
a =	71.7	71.7	71.7	71.7	71.7	71.8	71.8	72.1	71.7	71.9	71.9	71.7	71.0	71.0		72.8



① 目標 LET = 38 に対して、実測では 39.09 ± σ0.90 でした。

② 「感応層1の出口位置」では、Eスペクトルでは、停止 0 MeV はしていないものの、LETスペクトルでは、ビームの半分以上は max LET を超えて 折り返していた模様です。LET peak の Gauss Fit はできませんでした。

※ この例のように、不感層が厚い場合で、max LET 近傍を狙った設定には注意が必要です。max LET より、余裕をもって低いLET値にしておいた方が安全です。

照射ビームの E, Range, LET スペクトル について補足

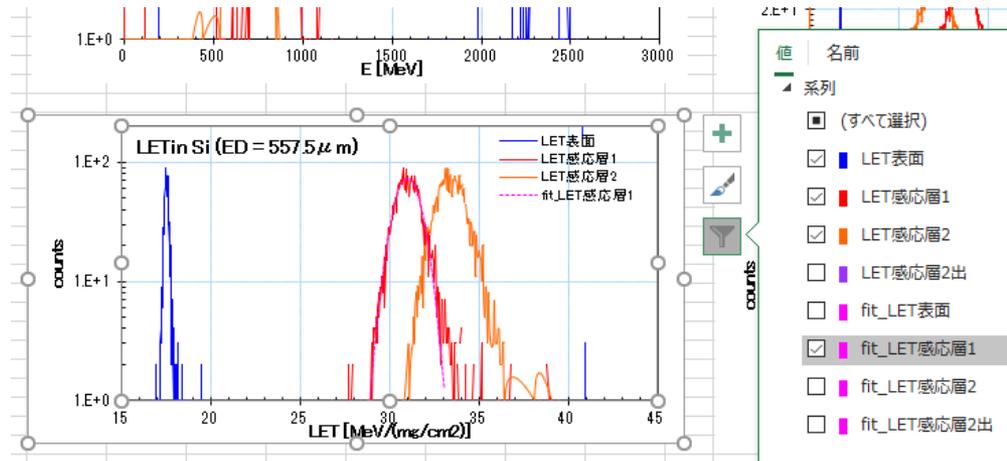
⑤納品_spcSSD_201109.xlsm
⑤納品_spcSSD_201109.xlsm

← スペクトルの元グラフは、このExcelファイルに入っています。(計算結果の数値のみ)
X,Y軸の表示範囲や、Fitting曲線表示 など、必要に応じて変更してください。

RunName= scnEDssd03-0006.dmp R03_00度_LET30
EDeg = 557.5 μm EDptn 1204000800000

生データ	試料表面で				感応層1 表面で				感応層2 表面で				感応層2 裏面(出口)で				
fit_生Data	fit_E表面	fit_LET表面	Rng表面	E感応層1	fit_LET感応層1	g感応層1	E感応層2	fit_LET感応層2	g感応層2	感応層2出	fit_LET感応層2出	感応層2出					
counts	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	MeV	MeV/u	LET	μm	
X0 =	1533.9	2355.8	28.045	17.51	396.6	858.7	10.222	31.01	106.6	709.4	8.445	33.41	86.6	548.2	6.526	36.21	66.6
sg =	18.0	26.5	0.316	0.11	6.6	47.1	0.561	0.72	6.6	50.8	0.604	0.85	6.6	55.1	0.656	0.98	6.6
a =	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.4	73.2	73.1	73.1	73.0	73.2	73.2	73.2	73.3	73.2

下記スペクトルの Gaussian Fit の結果値です。



xwFitGa.py
⑤納品補助_spcSSD_xwFitGa_201109.xlsm
⑤E5Aサルマニ_納品データ整理 (抜粋) _20...

← 尚、Gaussian Fitting をやり直したい場合は、これらのファイルを使う必要があります。詳しくは、マニュアル参照。Python のインストールが必要です。

※ 必要でしたら、前述の LET, Range スペクトルを計算している SRIMfit Excel 表も提出させていただきます。(貴社PCに SRIMfit のインストールが必要です)

以上です。

ご質問等ございましたら、お問い合わせください。

理研・産業チーム