

2020年3月26日

## SSD で測定された Kr-84 のエネルギースペクトルと PHITS 計算の比較 ver.2

神原 正

2020年2月24日-26日に行われたM社有償利用の際に測定された<sup>84</sup>KrのエネルギースペクトルをPHITSによるSimulationと比較した。

使用したスペクトルは2月24日にSSDで測定されたデグレーダ厚さ依存性で、rawdataのファイル名はscnEDssd1-0001.dmpからscnEDssd1-0022.dmpまで、デグレーダの厚さは0から844.5 $\mu$ mまで、SSDはB1とB2である。

PHITS計算で設定した物質層を以下の表と図1に示す。厚さはcnfdサーバにあるエクセルファイル①準備\_ED選\_2002Kr(M01)\_200226.xlsxのparamsシートの値に基づく。

名称	材質	厚さ	位置 (mm)
散乱体	金	45.8 $\mu$ m	-130
真空切り窓	カプトン	78 $\mu$ m	0
電離箱窓・電極とシンチの遮光幕 (合計)	マイラ	89.4 $\mu$ m	30
電離箱電極	アルミ	14 $\mu$ m	35
シンチ	プラスチックシンチ: EJ-212 Polyvinyltoluene	100 $\mu$ m	50
デグレーダ	アルミ	可変	145
大気	空気	365mm - 固体層	0-365
試料	シリコン	2.05mm	365

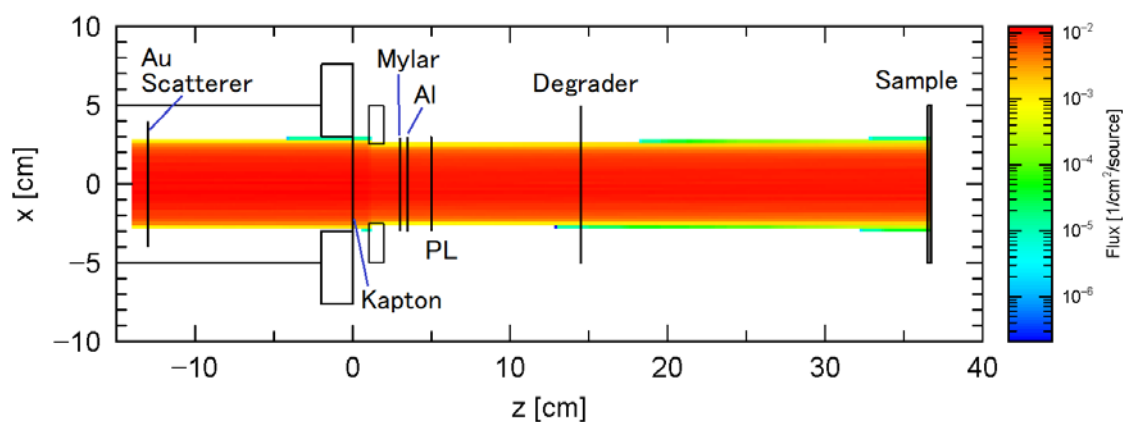


図1：PHITSで設定したビームと物質層の配置。

散乱体に Kr-84 の平行ビームを入射して、デグレーダの厚さを変えながら Si 試料に入射する Kr-84 イオンのエネルギー分布を[T-Cross]で計算した。

入射粒子のエネルギー分布は2種類設定した。すなわち 68MeV/A の単一エネルギー

[ Source ]

proj	=	84Kr	# 入射粒子
e0	=	68	# energy of beam [MeV/u]

と 68MeV/A を中心とする半値全幅 0.36MeV/A のガウス分布で、ただし下限 67.64MeV/A から上限 68.36MeV/A の間に限定した。

[ Source ]

proj	=	84Kr	# 入射粒子
e-type	=	2	# 入射エネルギー Gauss 分布
eg0	=	68	# 中心値 [MeV/u]
eg1	=	0.36	# 半値全幅
eg2	=	67.64	# カットオフ最小値
eg3	=	68.36	# カットオフ最大値

このビームエネルギー分布の中心値と幅の値は、計算結果が SSD の測定結果に一致するように選択した。入射粒子の個数は 20000 個とした。

それぞれのデグレーダ厚さに対して得られたエネルギースペクトルは、測定結果に対してはチャンネル数、Simulation に対してはエネルギー (MeV/A) を変数  $x$  として、高さ  $A$ 、ピーク中心  $x_0$ 、幅  $\sigma$  をパラメータとするガウス関数

$$A \exp[-(x - x_0)^2 / 2\sigma^2]$$

で最小自乗近似した。

最小自乗近似の例として、デグレーダの厚さが  $446\mu\text{m}$  の場合に対する SSD-B1 の測定と PHITS の Simulation で得られたピーク付近のスペクトルを図 2 に示す。左のグラフが SSD の測定結果、右のグラフが PHITS による計算結果である。PHITS 計算では入射粒子のエネルギー分布が単一エネルギーの場合とガウス分布の場合をとともに示す。

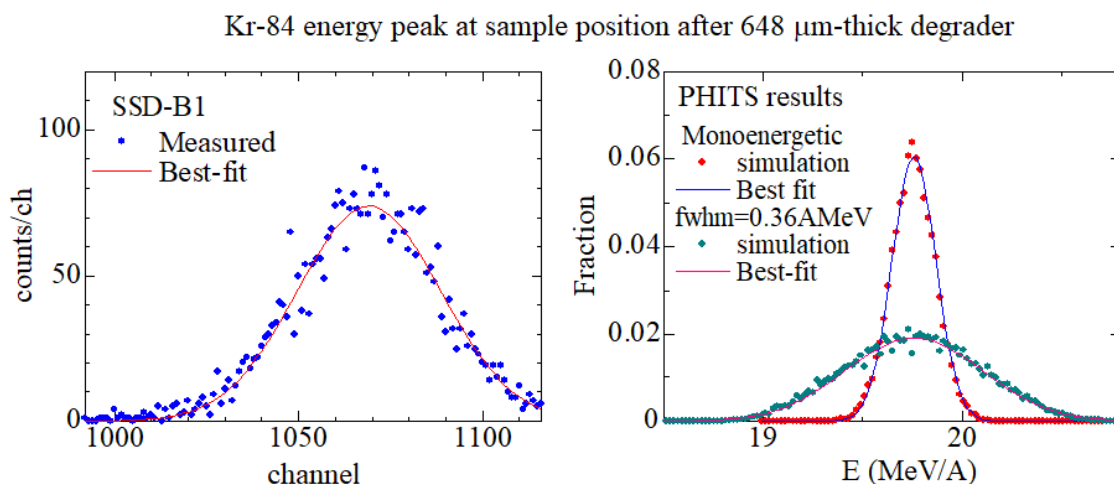


図 2：デグレーダ厚さ  $648\mu\text{m}$  に対して SSD-B1 (左) と PHITS (右) で得られた Kr-84 のピーク付近のエネルギー分布。

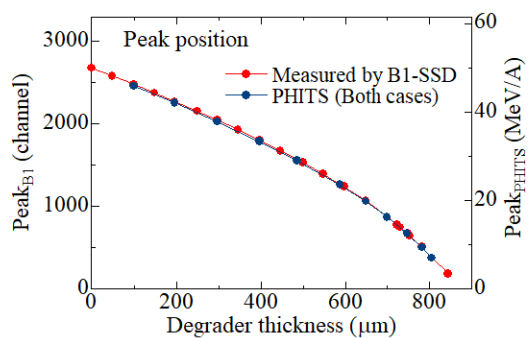
PHITS の計算では、入射粒子を単一エネルギー分布からガウス分布にすると、ピーク位置はほとんど変わらないがピーク幅は大きくなる。

最小自乗法で得られたピーク中心と幅の最適値をデグレーダ厚さの関数としてプロットした結果を図 3 に示す。ただし左は SSD-B1 で右は SSD-B2 である。

それぞれ上の図はピーク中心位置で、赤丸が SSD によるチャンネル数で左の縦軸 (Y 軸) が対応し、青丸が PHITS 計算によるエネルギー値 (MeV/A) で右の縦軸 (R 軸) が対応する。ただし PHITS 計算の入射粒子エネルギー (あるいはその中心値) はビームの飛程が SSD 測定に合うように調整した。その結果が  $68\text{MeV/A}$  である。またグラフの Y 軸と R 軸の尺度の比は SSD の測定結果と PHITS の計算結果が重なるように調整した。その結果エネルギーとチャンネルの比は B1 で  $0.01864$ 、B2 で  $0.0153$  である。デグレーダの厚さによらずピーク位置は入射粒子のエネルギーが単一でもガウス分布でもほとんど同じである。

下の図はピーク幅  $\sigma$  で、Y 軸と R 軸の尺度の比は上のピーク位置のグラフの値と同じである。入射粒子が単一エネルギーとした PHITS のピーク幅は測定結果の  $\frac{1}{4}$  程度であるが、エネルギーが半値全幅  $0.36\text{MeV/A}$  のガウス分布になると仮定するとデグレーダの厚さ全体にわたって測定値によく合う。

Parameters of best-fit Gaussian to  $^{84}\text{Kr}$  energy peak in the B1-SSD spectra and PHITS simulations



Parameters of best-fit Gaussian to  $^{84}\text{Kr}$  energy peak in the B2-SSD spectra and PHITS simulations

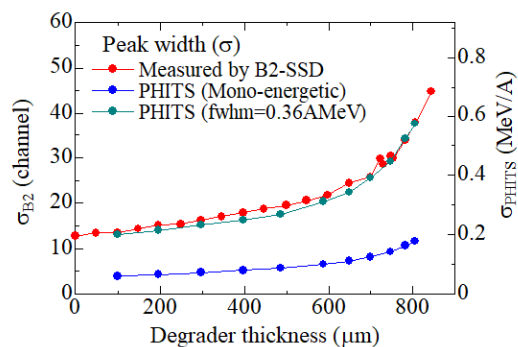
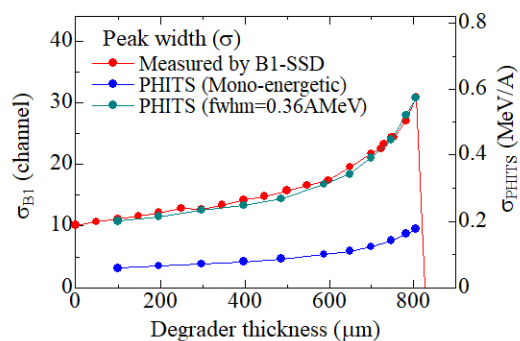
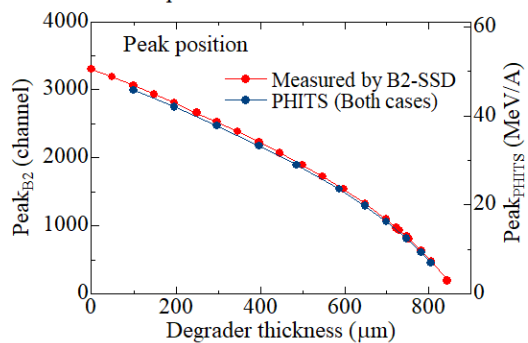


図 3 : SSD-B1 (左) と B2 (右) のピーク中心 (上) と幅 (下) のデグレーダ厚さ依存性と PHITS による計算結果の比較。