

# レーザーコンプトン散乱 $\gamma$ 線 (LCS- $\gamma$ ) による偏光と中性子の放出角度分布の依存性の測定

## MEASUREMENT OF THE DISTRIBUTION OF NEUTRON EMISSION DEPENDS ON POLARIZATION BY LCS- $\gamma$

武元亮頼<sup>#, A)</sup>, 山口将志<sup>A)</sup>, 橋本智<sup>A)</sup>, 天野壯<sup>A)</sup>, 早川岳人<sup>B)</sup>

浅野芳裕<sup>C)</sup>, 糸賀俊朗<sup>D)</sup>, 佐波俊哉<sup>E)</sup>, 宮本修治<sup>A)</sup>

Akinori Takemoto<sup>#, A)</sup>, Masashi Yamaguchi<sup>A)</sup>, Satoshi Hashimoto<sup>A)</sup>, Sho Amano<sup>A)</sup>, Takehito Hayakawa<sup>B)</sup>,  
Yoshihiro Asano<sup>C)</sup>, Toshiro Itoga<sup>D)</sup>, Toshiya Sanami<sup>E)</sup>, Shuji Miyamoto<sup>A)</sup>,

<sup>A)</sup> Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

<sup>B)</sup> Japan Atomic Energy Agency

<sup>C)</sup> RIKEN Spring-8 Center

<sup>D)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute

<sup>E)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

### Abstract

Using quasi-monochromatic and linear polarity  $\gamma$ -ray at NewSUBARU BL01, we study the relation of polarization and angular distribution of neutron emission. We once measured this using Au, Cu, I as a target. This time, we changed the measuring instrument to improve experimental accuracy. First of all, we changed a laser to gain the laser power and  $\gamma$ -ray flux. Three target of Au, Ag, Y were tested to check new measuring instrument.

### 1. はじめに

1957年、イタリアの Agodi 博士は直線偏光の  $\gamma$  線が原子核に当たり、巨大双極子核共鳴によって中性子が放出された時、 $\gamma$  線の入射軸に対して垂直な面を考え、その中での中性子の放出角度分布は  $\gamma$  線の偏光方向と中性子の放出方向とのなす角を  $\theta$  とすると光の電場による影響で中性子の強度  $I$  は

$$I = a + b \cos 2\theta$$

となる理論を立てた<sup>[1]</sup>。しかし、最近まで直線偏光の高輝度で光核反応を起こせるようなエネルギーの  $\gamma$  線光源がなかったので実験で確かめることができなかったが NewSUBARU 電子蓄積リング<sup>[2]</sup>の BL01でのレーザーコンプトン散乱  $\gamma$  線(LCS- $\gamma$ )<sup>[3]</sup>を用いてその理論を実験的に確かめることができるようになり、targetとして Au, Cu, I の3つの核種で中性子の放出角度分布を測定した<sup>[4]</sup>。今回は中性子の放出角度分布を更に高精度に計測するために、計測系の改良と単位時間あたりの中性子の信号量増加を検討した。そこで今回はレーザーを従来の最大出力 5Wのレーザーから、新しく最大出力 30Wのハイパワーのものに変え試験した。この状態で、Au以外に Ag, Y, ターゲットを用いて、中性子の放出角度分布を測定し、計測系に問題がないことを確認した。

### 2. 計測手法

NewSUBARU 電子蓄積リングを 1GeV の Top-up モードで運転し、Nd レーザー(1064nm)を入射することで LCS- $\gamma$  を得る。この時の LCS- $\gamma$  の最大エネルギーは 16.9MeV である。また、加速器トンネル内に直径 6mm $\phi$  のコリメータを設置して、準単色  $\gamma$  線ビームとした。これによってエネルギー範囲が 16.9-15.2MeV の範囲の  $\gamma$  線ビームとなっている。中性子検出器としてプラスチックシンチレータを用いた。これは  $\gamma$  線と中性子の両方に感度があるため、TOF法を用いて二つの信号を分離して計測した。

計測系を Figure 1 に示す。TOF法を用いるために、

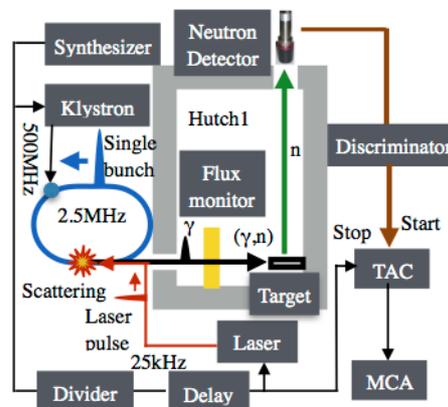


Figure 1: Schematic diagram of measuring instrument.

# akinori@lasti.u-hyogo.ac.jp

$\gamma$  線はパルスにする必要がある。そのために電子蓄積リングをシングルバンチモードで運転し、そこへパルスレーザーを入射する。電子ビームのタイミング信号によりレーザーをトリガーして計測系の同期を取った。TAC のスタート信号に中性子検出器信号、ストップ信号に電子タイミング信号を用いた。 $\gamma$  線の偏光方向と中性子の放出方向のなす角度を変えるため、入射レーザーの偏光を 1/2 波長板で回転させることにより、 $\gamma$  線の偏光方向を回転させた。

回転させた時のレーザーの偏光は、加速器トンネル内を透過したレーザー光を使って確認した。

target に LCS- $\gamma$  が当たる前にガンマ線フラックスモニターとしてプラスチックシンチレータを設置した。

### 3. TOF 信号と中性子の放出角度分布

ターゲットとして Au を用いた時に得られた TOF 信号を Figure 2 に示す。TAC 入力信号の使い方により、速度が速いものの信号が右側に出てくるようになっている。右側にある緑色のピークは LCS- $\gamma$  がターゲットでコンプトン散乱して発生する散乱  $\gamma$  線 (496 keV) のピーク、左側の赤色の部分は中性子の信号となっている。ターゲットとして Au を用いており、中性子が発生する光核反応の中で一番 Q 値が高いのは ( $\gamma, n$ ) 反応で、その Q 値は -8.06MeV である。このことを考えると  $\gamma$  線の最大エネルギー 16.9MeV なのでターゲット Au で発生する中性子の最大エネルギーは 8.84MeV となる。そこで散乱  $\gamma$  線のタイミングから考えられる最大エネルギーの中性子が来る時間に線を引いた。理論上はこのラインから右側には中性子の信号がこないはずである。散乱  $\gamma$  線(緑色)と中性子の信号との間に BG より少し多い信号が見られる。これはシングルバンチモードで運転して

いるが多少バンチに漏れがあり、それとレーザー光とによる相互作用によりタイミングがずれた LCS- $\gamma$  が発生していると考えている。現状ではその信号量は小さいので、このように TOF により散乱  $\gamma$  線と中性子の信号を分けられて計測できている。また別の問題点として、この信号系では 2.5MeV 以下の中性子の信号はとれていない。これは中性子測定用のプラスチックシンチレータからの信号が小さいためである。2.5MeV 以下の中性子の信号を測定するために高速な増幅が必用である。ただ、加速器トンネル側から周期的な弱い X 線がきていることがわかっており、これも増幅してしまい、この信号が中性子の信号と重なってしまうので、今回は現状で高エネルギー(2.5MeV 以上)の中性子部分のみで放出角度分布を測定した。

次に偏光方向に対する中性子の放出角度分布がどのようになっているか示す。Figure 3 にターゲット Au で得られた放出角度分布、Figure 4 に Ag で得られたもの、Figure 5 に Y で得られたものを示す。校正曲線はフラックスで規格化された信号量を  $I$  として

$$I = a + b \cos 2\theta$$

を用いており、 $\theta$  は偏光方向と中性子の放出方向のなす角度である。 $a, b$  は定数としている。

3 種類のターゲット全てでこのカーブで良いフィッティングとなっている。現状、この状態で、新しいハイパワーのレーザーによる計測系も問題無く動作していると考えている。

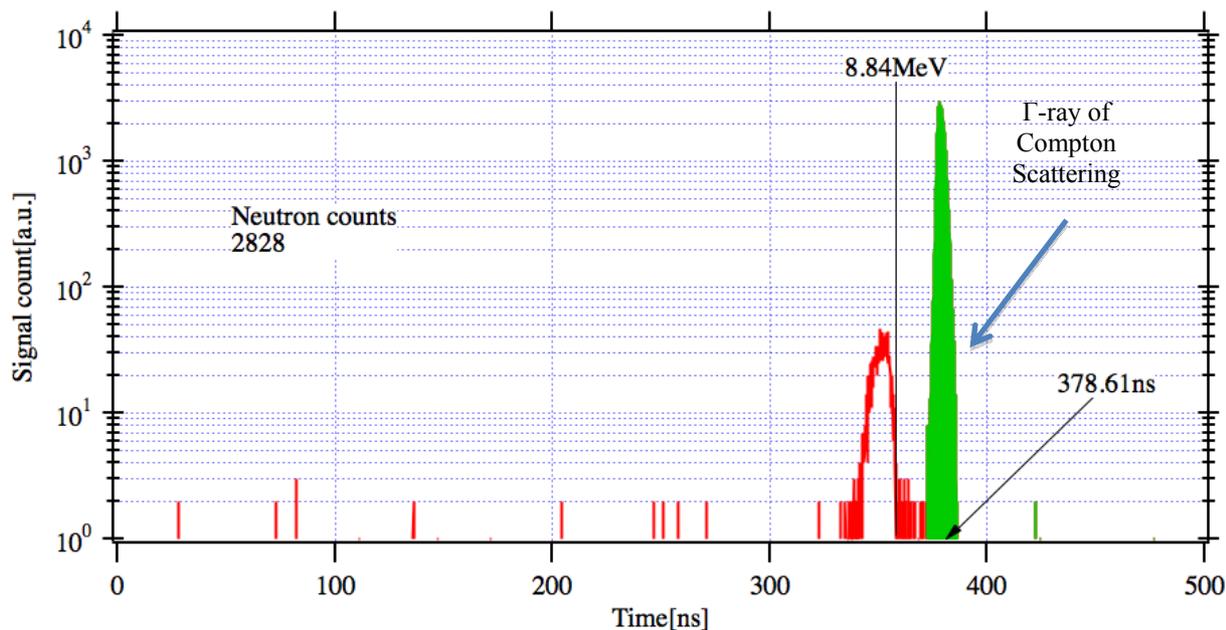


Figure 2: TOF signal of Au, vertical polarization.

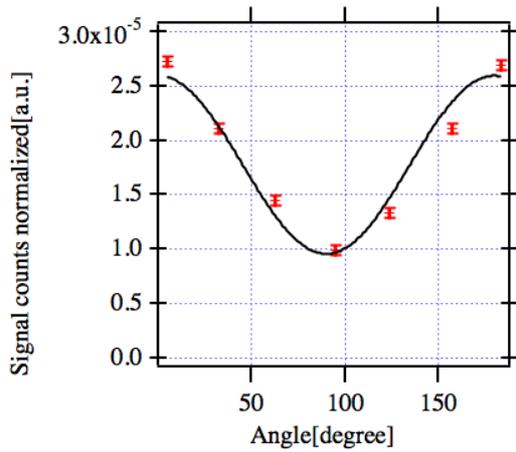


Figure 3: Neutron angular distribution between linear polarization, target is Au.

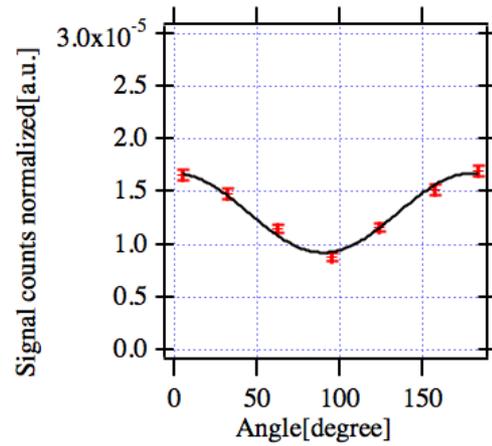


Figure 4: Neutron angular distribution between linear polarization, target is Ag.

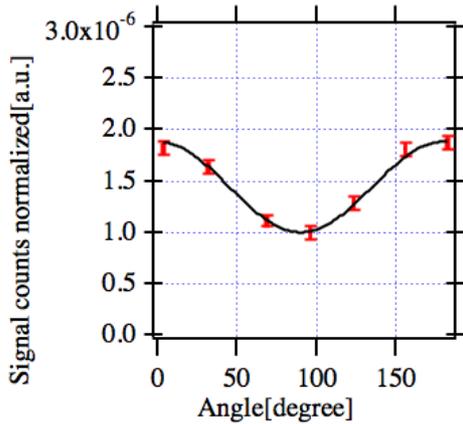


Figure 5: Neutron angular distribution between linear polarization, target is Y.

#### 4. まとめ、今後について

レーザーを新しくパイパワーのものに変えても、かつての実験のように  $\cos$  のカーブを描く中性子の放出角度分布が得られた。

外からのレーザーを入射することによって発生するノイズをカットするため、2.5MeV 以下の中性子の信号も一緒にカットしてしまっている。そこで現状ではハッチ1で実験しているが、flux モニター、中性子検出用のプラスチックシンチレータ、ターゲットをハッチ2に移して加速器トンネルから距離を遠ざけ、局所的な遮蔽材などを設置することで加速器トンネルからのノイズを落とそうとしている。BL01の概略図を Figure 6 に示す。

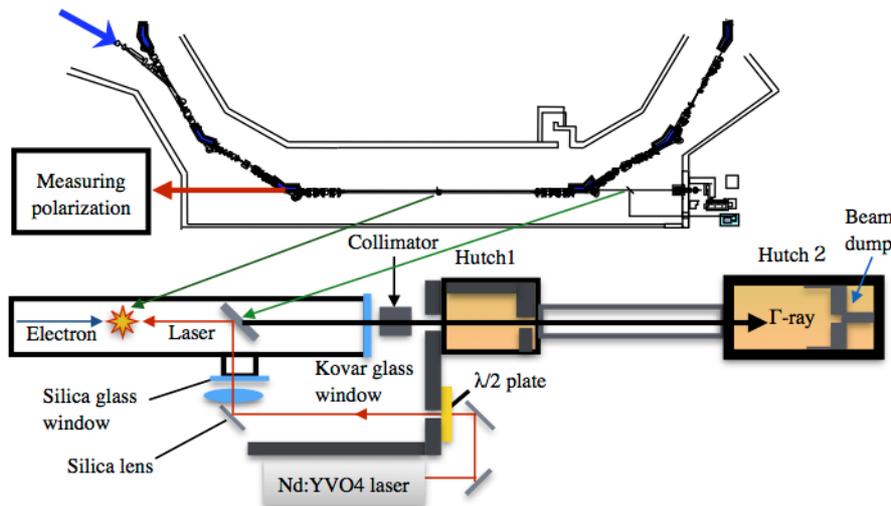


Figure 6: Schematic diagram of NewSUBARU BL01.

## 参考文献

- [1] A. Agodi et al., Nuovo Cimento , 5(1), 21(1957).
- [2] 宮本修治他, ” ニュースバル放射光施設の現状” ,年会  
プロシーディングス, FSP018 第 11 回日本加速器学会  
年会,リンクステーションホール青森,8 月 9-10 日  
(2014).
- [3] 宮本修治 「レーザ・コンプトン散乱ガンマ線ビームラ  
イン-NewSUBARU 放射光施設-」 加速器学会誌「加速  
器」, 5, pp.111-116 (2008).
- [4] K.Horikawa, et al., "Neutron angular distribution in ( $\gamma$ ,n)  
reactions with linearly polarized  $\gamma$ -ray beam generated by  
laser Compton scattering" Physics Letters B, 737, pp.109-  
113 (2014).