

# レーザーCompton 散乱ガンマ線ビームを用いた磁気 Compton 散乱測定 MEASUREMENT OF MAGNETIC COMPTON SCATTERING BY LASER COMPTON SCATTERING GAMMA-RAY BEAM

山口 将志<sup>#,A)</sup>, 武元 亮頼<sup>A)</sup>, 小泉 昭久<sup>B)</sup>,  
天野 壮<sup>A)</sup>, 橋本 智<sup>A)</sup>, 堀 史説<sup>C)</sup>, 宮本 修治<sup>A)</sup>

Masashi Yamaguchi<sup>#,A)</sup>, Akinori Takemoto<sup>A)</sup>, Akihisa Koizumi<sup>B)</sup>,  
Sho Amano<sup>A)</sup>, Satoshi Hashimoto<sup>A)</sup>, Fuminobu Hori<sup>C)</sup>, Shoji Miyamoto<sup>A)</sup>

A) LASTI, Univ. of Hyogo, B) School of MS, University of Hyogo, C) Osaka Prefecture University

## Abstract

LCS gamma ray source by NewSUBARU synchrotron radiation facility is gamma ray beam with the simple color of the 1.7MeV which occurs by collision with the electron beam of 1GeV@300mA and a CO2 gas laser of 10.5 μm of wavelength. Correction of general flux of LCS gamma source with shaking of an incident laser and measurement of degree of polarization were performed by measuring gamma ray scattered on 90 deg direction. Polarization of Laser Compton Scattering (LCS) gamma ray preserves Polarization of an incident laser approximately 100%. Circular Polarization of LCS gamma ray is changed by replacing quickly clockwise and counterclockwise circular Polarization. I'm planning to use this nature and measure Magnetic Compton Scattering. It's observed how Plane of polarization changes by the mirror system until the incident laser reaches a collision point with the electron beam.

## 1. はじめに

兵庫県立大学高度産業科学研究所のニュースバル放射光施設<sup>[1]</sup>では、放射光利用研究と同時に、レーザー・コンプトン散乱の発生と利用研究<sup>[2]</sup>を行ってきた。エネルギー0.5 GeV~1.5 GeVの電子を約120mの蓄積リング内に反時計回りに蓄積できる。BL01では、この電子ビームを利用し、レーザー・コンプトン散乱によるガンマ線領域の線源の研究を行っている<sup>[3]</sup>。Table.1 にニュースバル放射光リングのパラメータを示す。1.0 GeVにおいては、蓄積電流300mAのTopup運転を行っている。現在、BL01では、波長1.06 μmのNd:YAGレーザー、波長1.55 μmのEr: fiberレーザー、波長10.5 μmのCO<sub>2</sub>レーザーを利用できる。電子エネルギー1 GeVにおいて、それぞれのレーザーにおけるレーザー・コンプトン散乱のガンマ線エネルギーは17 MeV, 11.5 MeV, 1.73 MeVとなる。

ガンマ線の特徴としては以下の点が挙げられる。

### ・エネルギー可変

蓄積リングの内を回る電子のエネルギー、または、入射レーザーの波長を変えることでガンマ線源のエネルギーを変えることができる。

### ・高指向性

レーザー・コンプトン散乱は電子が相対論領域の速度を持つため、発生したガンマ線源は前方に1/γの角度内に散乱され、ガンマ線進行方向に鋭く集中した分布になっている。

### ・準単色性

発生したガンマ線のエネルギーは散乱角に依存する。それをコリメータで角度制限することで準単色

のガンマ線源を得ることができる。

### ・偏光保存

レーザー・コンプトン散乱では、発生したガンマ線の偏光は、入射レーザーの偏光を保存し、コリメータで散乱角を制限することで、ほぼ100%の偏光となる。そのため直線偏光や円偏光などの様々な偏光のガンマ線を発生できる。

このような特性を持つガンマ線を利用し、ガンマ線領域では確認されていない磁気コンプトン散乱試験<sup>[4-6]</sup>を行う。ガンマ線による磁気コンプトン効果の利点は、直線偏光のCO<sub>2</sub>レーザーをλ/4波長版でレーザーの左右円偏光を入れ換えることで、ガンマ線の円偏光を入れ替えることができる点、X線に比べ磁気コンプトン効果が大きい点である。また、いままで蓄積リングの電流の低下により、偏光ガンマ線のFluxの定量的な測定が困難だったが、Topup運転及び、フラックスモニター<sup>[7]</sup>の導入によりこれを可能にした。円偏光ガンマ線との試料の電子との磁気コンプトン散乱強度は電子スピンの方向に依存するため、強度測定のみで試料の磁化率が評価できる。

Table 1: NewSUBARU Synchrotron Parameters

Storage energy	0.55 – 1.47 GeV
TopUp operation	0.974 GeV / 300 mA
Circumference	118.731 m
RF frequency	499.955 MHz
Harmonic number	198
ΔE/E (1.0/1.5 GeV)	0.05% / 0.07%
Emittance(1.0/1.5 GeV)	40 nmrad / 70 nmrad

# ym731@lasti.u-hyogo.ac.jp

## 2. 磁気コンプトン散乱強度測定

磁気コンプトン散乱強度は試料の磁化方向、散乱方向、偏光ガンマ線の円偏光度に依存する。また、コンプトン散乱強度に比べ、磁気コンプトン効果は数%であり、ガンマ線の Flux を正確に測定する必要がある。Fig.1 に磁気コンプトン散乱強度測定配置を示す。

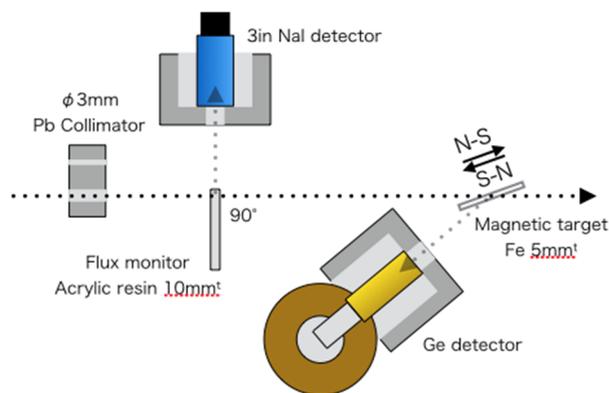


Figure 1: Layout of Magnetic Compton scattering experiment.

Fig.1 において CO<sub>2</sub> レーザーを入射し、1GeV@300 mA の電子ビームと衝突させ 1.7 MeV のガンマ線を発生させる。ガンマ線はφ3 mm の鉛でコリメートされ、90° コンプトン散乱を用いたフラックスモニターであるアクリル樹脂を通過し、試料である Fe に入射する。フラックスモニターはアクリル樹脂からの 90° コンプトン散乱を垂直方向、水平方向に設置された 3in NaI detector で測定することでガンマ線の Flux を測定するものであり、その測定誤差は 1% 未満である。Fe 試料とガンマ線との衝突面はガンマ線に対して 165° 傾けた。Fe 試料での散乱光を、ガンマ線に対して 150° 方向に設置した Ge detector で検出し磁気コンプトン散乱を測定する。Fe 試料上の N-S は磁場の方向を表す。磁場は C 型の電磁石に定電流を流し試料に掛ける。ガンマ線の偏光を固定し、試料にかかる磁場の方向を変えることで磁気コンプトン効果を測定する。磁気コンプトン散乱強度は Fe の 4d 電子スピンと円偏光ガンマ線との相互作用により、コンプトン散乱強度に変化を与える。

Fig.2(a)に Ge detector で測定したバックグラウンド (BG) 及び、散乱強度スペクトルを示す。

測定時間は 3000s であり、黒線はガンマ線なしでの BG、赤線は円偏光ガンマ線による散乱スペクトルである。511keV に対消滅ガンマ線、236keV に 150° の散乱ガンマ線、100keV 付近のピークは Pb の蛍光 X 線である。円偏光ガンマ線と電子スピンとの作用で 236keV ピークが減少または、増加する。Fig.2(b)に磁気コンプトン散乱強度を示す。磁気コンプトン散乱強度は Fe 試料に磁場をかけた状態と磁場をかけない状態での散乱スペクトルの差で求まる。それぞれの Fe に入射するガンマ線の強度はフラックス

モニターにより規格化されている。磁気コンプトン効果(%)は磁気コンプトン散乱強度を磁場のないコンプトン散乱強度で割ることで求めることができる。本研究での磁気コンプトン効果は 3~5%である。ピーク幅は 4d 軌道電子の運動量により決まるので、コンプトン散乱のピーク幅より小さい。

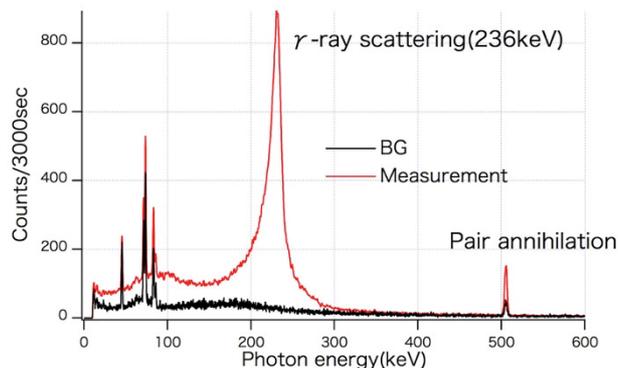


Figure 2 (a): Measured spectrum by Ge detector.

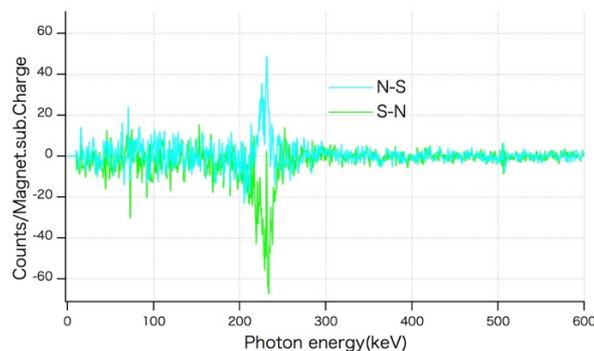


Figure 2 (b): Net spectrum of magnetic compton scattering.

## 3. 磁気コンプトン散乱を用いた Fe ヒステリシス測定

Fe にかかる磁場を変化させ、円偏光ガンマ線で磁気コンプトン散乱強度を測定した。Fig.3 に Fe のヒステリシス測定の結果を示す。

横軸は電磁石に流した電流(A)であり、縦軸は磁気コンプトン効果(%)を表す。A>0 は N-S 方向に、A<0 は N-S 方向に磁場がかかっている。丸赤、四角青は右回りの円偏光ガンマ線、ひし形緑は左回りの円偏光ガンマ線での測定値である。左右の円偏光を比較すると対称なヒステリシスが確認できる。左右の円偏光ガンマ線で確認されるヒステリシスの概形を薄紫線、薄緑線で表している。各点の Counts 数はコンプトン散乱ピークの 200~300keV の Counts を積分して求めている。青、赤は別の日の測定である。右回り円偏光と、左回り円偏光の磁気コンプトン散乱強度の最大値の差は、ガンマ線の円偏光度の差を表す。磁気コンプトン散乱強度の変化計測の本結果が正しいとすると、右回り円偏光のガンマ線の円偏光度は約 Pc=0.5、左回りの円偏光のガンマ線の円偏光度は約 Pc=0.7 となる。他の手法でのガンマ線の偏光度

の計測による検証が必用である。それぞれのヒステリシスにおいて、 $A=0$  での残留磁束密度が確認できる。また、 $A=1, -1$  で磁束密度が飽和し、 $A>1, A<-1$  ではほぼ磁気コンプトン効果に変化が確認されない。ヒステリシスは反転しているが、形が異なっている。現在この理由は不明であるが、計測システムの検証と、さらに精度を上げた計測が必要と思われる。

偏光ガンマ線による、磁気コンプトン効果で Fe のヒステリシスが測定された。円偏光反転させて計測したヒステリシス端での磁気コンプトン散乱強度の差は、ガンマ線の円偏光度が異なっていたために生じたと考えられる。物性研究に利用するために、磁気コンプトン効果の計測精度を上げる必要があり、そのために、レーザー及び、偏光ガンマ線源の円偏光度の改善と正確な評価が必要である。

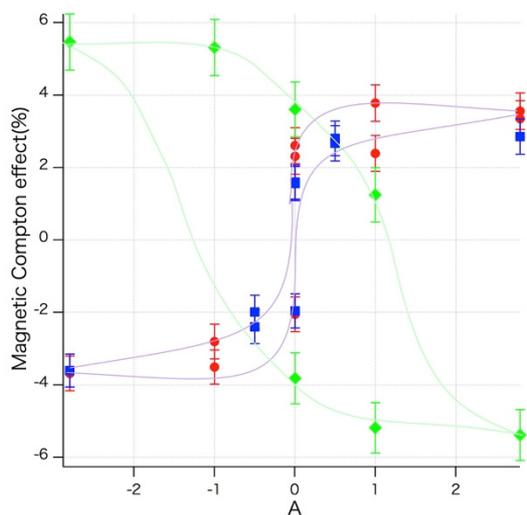


Figure 3: Fe Hysteresis of clockwise and counterclockwise circular polarized gamma ray.

#### 4. まとめ

レーザー・コンプトン散乱ガンマ線源の特徴である入射レーザーの偏光保存を利用し、ガンマ線領域では測定されていない磁気コンプトン効果の測定を行った。また、困難だったガンマ線 Flux のモニターを  $90^\circ$  コンプトン散乱を測定することで可能にした。円偏光ガンマ線の偏光に対して、Fe のヒステリシスが変化することが確認できた。これを利用し、偏光未知ガンマ線の円偏光度評価測定、また、物性研究に利用したい。磁気コンプトン効果を上げ、計測精度を上昇させるために、ガンマ線源の円偏光度の改善と正確な評価が必要である。

#### 参考文献

[1] 宮本修治他,"ニュースバル放射光施設の現状",本年会 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).  
 [2] 宮本修治他,"蓄積リングレーザ Compton 散乱ガンマ線による利用研究",本年会 プロシーディングス, SAPO14 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] H.Utsunomiya, T.Shima, S.Miyamoto, et.al., "Energy Calibration of the NewSUBARU Storage Ring for Laser Compton-Scattering Gamma Ray and Application", IEE E TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE vol.61, No.3(2014).  
 [4] 坂井信彦他,"シンクロトロン放射光による磁気コンプトン散乱", 応用物理学会, Vol.61, No.3, pp.226-233(1992).  
 [5] 伊藤真義他,"BL08W 高エネルギー非弾性散乱", SPring-8,大型放射光施設の現状と高度化, pp 54-55.  
 [6] Malcolm Cooper, et. al., "X-ray Compton Scattering", 5 The processing of experimental data, 10 Spin-dependent Compton scattering, pp.133-151, pp.289-299.  
 [7] Y.Kitagawa, et al., "レーザーコンプトン散乱ガンマ線源用フラックスモニターの開発", 本年会 プロシーディングス, THPS121, (第9回日本加速器学会, 大阪大学, 2012.8.8-11).