

DEVELOPMENT OF FLUX MONITOR FOR LCS GAMMA-RAY SOURCE

Yasuhisa Kitagawa^{#,A)}, Ken Horikawa^{A)}, Satoshi Hashimoto^{A)}, Sho Amano^{A)}, Shuji Miyamoto^{A)},
Yosuke Hamada^{B)}, Hiroaki Utsunomiya^{C)}, Tamio Yamagata^{C)},
Tatsushi Shima^{D)}, Takehito Hayakawa^{E)}

^{A)} Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo 678-1205

^{B)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198

^{C)} Konan University

8-9-1 Okamoto, Higashinada-ku, Kobe, Hyogo 658-8501

^{D)} Research Center of Nuclear Physics, Osaka University

10-1 Mihogaoka, Ibaragi-shi, Osaka 567-0047

^{E)} Japan Atomic Energy Agency

Shirakata Shirane 2-4, Tokai, Ibaraki 319-1195

Abstract

The development of flux monitor for Laser Compton Scattering Gamma-ray was started. Compton scattered gamma-ray from monitor target will be used. The estimated of resolution of monitor was performed using plastic target and NaI detector. It was found that the system of flux monitor is possible to realize. In the fall, the flux monitor will be operated.

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

1. はじめに

SPring-8 サイト内にあるニュースバル放射光施設は兵庫県立大学高度産業科学技術研究所の附属研究施設として光源開発や微細加工、材料評価などの産業応用研究や技術開発を行っている。1.0~1.5GeV電子蓄積リングを有し、入射器は SPring-8 の 1GeV線型加速器を利用し、電子を供給している。蓄積電流値 250mA (1GeV モードでの運転時) の Top-up 運転を行っており、現在 9 本のビームラインで実験が行われている。

本施設のビームライン 1 番 (BL01a) では蓄積リング内の高エネルギー電子とレーザー光との相対論的コンプトン散乱により MeV 領域のガンマ線を定常的に発生・利用できる^[1]。BL01a で使用しているレーザーと発生できるガンマ線のエネルギー(E_γ)を表 1 に示す。

表 1 : レーザーの仕様と発生ガンマ線のエネルギー

Laser	Wavelength (μ m)	Max Power (W)	Operation mode	E_γ (MeV)
Nd:YVO ₄	1.064	4.7	cw	16.7
	0.532	3	pulse	32
CO ₂	10.59	9	cw	1.7
Er-Fiber	1.550	5	pulse	11.5
Ti-sapp	0.71~0.82	0.7@770nm	cw	21~24

レーザーコンプトン散乱ガンマ線 (以下 LCS ガンマ線) のエネルギーは以下の式で表される。

$$E_\gamma = \frac{4\gamma^2 E_L}{1 + (\gamma\theta)^2 + 4\gamma^2 E_L / (mc)^2} \quad (1)$$

LCS ガンマ線の特徴は高指向性や準単色線源、エネルギー可変、偏極ガンマ線などがある。これらの特長を生かし、光核反応による放射性廃棄物の安定化^[2]や超新星爆発時の(γ , n)反応による重元素生成の解明^[3]、高速陽電子の生成とそれを用いた材料評価の研究、偏極ガンマ線による磁気コンプトン散乱を用いた物性研究などの応用研究が行われている。

これらの実験を行う上で LCS ガンマ線の正確なフラックス測定が必要になる。これまでフラックス測定には 17MeV ガンマ線に対してほぼ 100%の検出効率をもつ GSO 検出器(Ce:Gd₂SiO₅(36mm×36mm×180mm)×4)を用い、放射化法によりガンマ線フラックス測定^[4]のクロスチェックを行った。Nd レーザーは出力安定性も 2%以下でかなり安定してガンマ線を発生できる。しかし CO₂ レーザーの出力安定性が少々悪いためガンマ線フラックスの時間変動が大きい。このためレーザーもしくはガンマ線フラックス自体を常にモニターしておくことが各種応用上重要である。レーザーの出力をモニターするには光路上にハーフミラーを設置すればいいが、現状ではスペースに余裕がなく、また仮に設置できたとしても加速器収納トンネル内・真空チャンバー内にもミラーがあり、それらの反射率変化や偏光依存も考慮する必要がある。このため、発生したガンマ線をモ

[#] yasuh-k@lasti.u-hyogo.ac.jp

ニターの方がより正確なフラックスを算出できると考えた。今回 CO₂ レーザー使用時の 1.7MeV ガンマ線用フラックスモニターの開発・検討を行ったので報告する。

2. フラックスモニターの検討

CO₂ レーザーの時間変動のグラフを以下に示す。

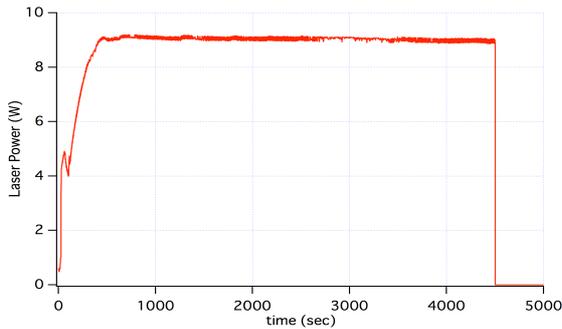


図 1 : CO₂ レーザーによる出力の時間変動

測定に使用した CO₂ レーザーは INFRARED INSTRUMENTS 製 IR-10-WS-GF-VP、チラー設定は 19℃、立ち上がり時間 10 分、その後 1 時間出力をモニターした。立ち上がり後の平均出力は 9.03W である。この測定ではたまたま変動が±2%に収まったが、実際長時間実験に使用していると 5%程度変動することが多い。今回開発するフラックスモニターでは 1%の精度で測定できるような装置を考えている。具体的には発生したガンマ線をターゲットに照射しそのターゲットからの散乱ガンマ線を精度良く測定するというものである。

フラックスモニターを開発するにあたり以下の項目の検討を行った。

- ターゲット・検出器の選択
- ターゲット・検出器の配置
- 全体の構成

3. 検討結果

3.1 ターゲット・検出器の選択

フラックスモニターに用いるターゲットの条件としては密度が低く、後方の実験に影響を与えないことが重要である。また加工の必要性も考慮すると、手に入りやすく適度なコンプトン散乱断面積をもったプラスチックに決定した。

検出器を選ぶ条件は、エネルギー分解能が良く検出効率が高いこと。これらは低エネルギー X 線バックグラウンド中のピークをきちんと見分けるためである。検出器は現在我々が所有しているものの中でも小型な NaI(Tl)シンチレータ検出器(3"φ×3")を選んだ。NaI 検出器の 400keV ガンマ線に対する透過率^[5]を図 2 に示す。

図 2 より 3inch の NaI は 400keV ガンマ線では約 96%の吸収率があることがわかった。

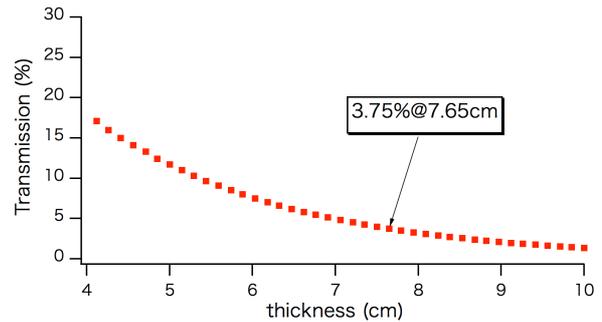


図 2 : NaI のガンマ線透過率

3.2 ターゲット・検出器の配置

3.1 においてターゲットおよび用いる検出器を決定したのでここではそれらの配置について検討した。厚さ 1cm のプラスチック(炭素)は 1.7MeV ガンマ線に対してコンプトン散乱断面積 0.0469[cm²/g]、密度 1[g/cm³]とすると透過率は以下の式で表される。

$$T = \exp(-k \cdot x) \quad (2)$$

ここで T は透過率(%), k は線吸収係数(cm⁻¹), x は厚さ(cm)である。式(2)を用いてプラスチックの透過率を求めると、95.4%であった。次に散乱ガンマ線計測に必要なカウント数と距離を求める。3mmφ鉛コリメータ使用時の LCS ガンマ線の Yeild を 200[γ/s/mA/W]とするとフラックスは

250[mA]×4[W]×200[γ/s/mA/W]=2×10⁵[γ/s]となる。このうち約 5%がプラスチックによって 4πにコンプトン散乱されるので

2×10⁵[γ/s/mA/W]×0.05=10000[γ/s]@4π
フラックス計測に必要な精度 1%から、散乱ガンマ線の必要カウント数は 10000 カウントで、これを仮に 100 秒で計測する場合

$$10000[\text{count}] / 100[\text{sec}] = 100[\text{count/s}]$$

となる。

続いて、散乱ガンマ線計測に必要な立体角比は

$$\Delta \Omega / \Omega = 100 / 10000 = 1/100$$

程度必要であり、立体角比を 1/100 以上にするには

$$(1.5[\text{inch}])^2 \times \pi / 4\pi r^2 > 1/100$$

$$(3.81[\text{cm}])^2 / 4r^2 > 1/100$$

$$r < 19\text{cm}$$

よって、ターゲットから 19cm 以内の位置に検出器を置けば測定できる。また計測すべき散乱ガンマ線のエネルギーは以下の式で表される。

$$E_{\gamma}^{\text{Scatter}} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{mc^2}(1 - \cos\theta)} \quad (3)$$

ターゲットから 90° 散乱のガンマ線を計測する場合、散乱ガンマ線のエネルギーは約 393keV である。

3.3 全体の構成

ターゲットと検出器の配置図を以下に示す。

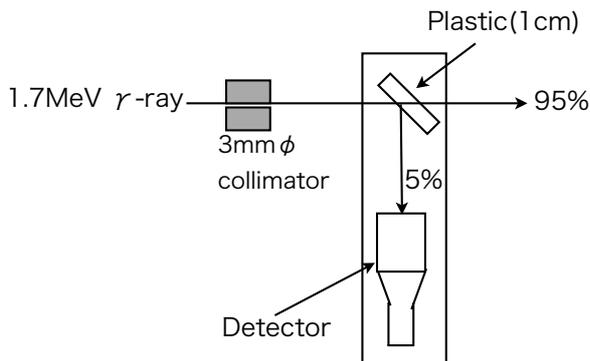


図3：配置図

ターゲットと検出器は1セットにして、必要なときにだけ設置できるようにする。検出器の周りは鉛で遮蔽し、できるだけバックグラウンドを抑える。鉛の厚さに関しては、低エネルギーバックグラウンド成分(数百 keV)は鉛 1cm で 90%以上遮蔽出来る。あまりに分厚い鉛を置くと重量の点から移動が困難になるため 1cm 程度が妥当である。

現在ニュースバルの BL01a には光学ハッチが2つあり^[6]、そのどちらにおいてもフラックスモニターが利用できるよう設計中である。

4. まとめ

CO₂ レーザーによる LCS ガンマ線利用時のフラックスモニター開発のための検討を行った。現有機器による構成検討を行った結果、フラックスモニターを構成可能と評価できた。現在必要な検出器架台や遮蔽等の設計中であり、夏の点検調整期間後には試験を行う予定である。

参考文献

- [1] K.Horikawa, et al., "Measurements for the energy and flux of laser Compton scattering γ -ray photons generated in an electron storage ring: NewSUBARU", Nucl. Instr. and Meth. A 618 (2010) 209-215.
- [2] K.Horikawa, et al., "Photonuclear Reaction of Iodine-129 with Laser-Compton Scattering Gamma-Rays Using Nd:YVO₄ Laser and Electron Storage Ring", Rev. of Laser Engineering, Vol.39, No.6, pp445-447 (2011)
- [3] T.Hayakawa et al., "Half-life of 184-Re populated by the (γ , n) reaction from laser Compton scattering γ rays at the electron storage ring NewSUBARU", Phys. Rev. C 74., 065802 (2006)
- [4] D.Tonaka, et al., Proc. "放射化法によるコンプトン γ 線源フラックス計測" (第7回日本加速器学会年会, 姫路, 2010.8.4-6)
- [5] National Institute of Standards and Technology (Photon Cross Section Database)
<http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>
- [6] S.Miyamoto et al., "ニュースバル偏光ガンマ線ビームライン", 本年会 FRLR17 (第8回加速器学会年会, 大阪大学, 2012.8.8-11)