

COMPTON γ -RAY IMAGING AT NewSUBARU

Yasuhisa Kitagawa[#], Daisuke Tonaka, Ken Horikawa, Satoshi Hashimoto, Shuji Miyamoto
Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo
1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

Now we have been performed γ -ray imaging experiments using MeV photon on NewSUBARU-BL01a. Laser-Compton scattering gamma-ray was used. We prepared a scanning image system with laser-Compton gamma-ray. Radiography of sample with heavy metal shield was obtained. This system was also used to measure spatial distribution of polarized gamma-ray intensity.

NewSUBARU におけるコンプトンガンマ線イメージング

1. はじめに

ニュースバル放射光施設のビームライン(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 領域のガンマ線が生成できる^[1]。また、ニュースバルガンマ線源の特徴は電子蓄積リングが電流値一定のトップアップ運転を行っている為、連続 12 時間ガンマ線を定常的に発生させることが可能である。

レーザーコンプトン散乱ガンマ線の特徴としては高指向性、準単色線源、エネルギー可変、偏極ガンマ線があり、また高透過性という一面もある。これらの特徴を活かした産業応用として、鉄筋コンクリート、各種金属材料、ロケット燃焼器等の非破壊検査^[2]や核廃棄物処理の基礎実験などがある。

NewSUBARU においても様々な基礎・応用実験がなされており、中でもイメージング測定実験ではイメージングプレート (Imaging Plate; IP) を用いた物質同定実験^[3]が行われている。

今回我々は IP ではなく NaI(Tl)シンチレータ検出器を用いたスキャン法による 3 次元 CT の導入準備を行った。またこれとは別に偏極ガンマ線の空間分布も測定したので報告する。

2. 実験

2.1 ラジオグラフィ測定

実験配置図を図 1 に示す。今回の実験では最大 16.7MeV のレーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いた。ニュースバル電子蓄積リング内を周回する 974MeV の電子ビーム(220mA)に 1.06 μ m の Nd:YVO₄ レーザー(4.7W)を衝突させてガンマ線を発生させた。この時発生した光子数は約 10⁶ 個/sec 程度。また今回のスキャン測定では 1mm ϕ ×100mm の鉛製コリメータを用いてコンプトン散乱ガンマ線の散乱角度を制限してやり準単色なガンマ線を取り出している。最終的に 1mm ϕ コリメータを通過したガンマ線フラックスは約 3×10⁴ 個/sec 程度である。鉛コリメータは配置図上の 3 カ所に置いてありそれぞれ 1stcollimator はバックグラウンドの低減、

2ndcollimator は散乱角度制限、および 3rdcollimator はサンプルで散乱したガンマ線及び電子を除去させる働きがある。

1mm ϕ の第 2 コリメータを透過した準単色ガンマ線ビームは自動ステージ上のサンプルに照射され、サンプルを透過したガンマ線を NaI(Tl)シンチレータ検出器で測定し、スキャン画像を得た。

サンプルには金属ロッドを採用しそれぞれ Au ロッド(2mm ϕ ×50mm)及び Al ロッド(2mm ϕ ×50mm)を用いた。またサンプル前には鉛板を置き、重金属で遮蔽されている環境を模擬した。鉛板の厚さはそれぞれ、前 12.5mm、後 4.2mm。

スキャン測定は 1 点につき 5sec、0.5mm ずつスキャンを行った。

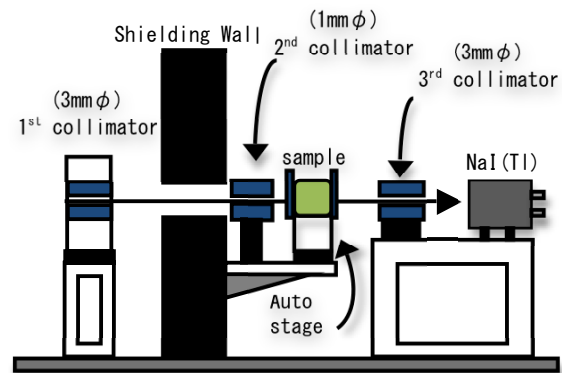


図 1: 実験配置図

2.2 偏極ガンマ線の空間分布測定

次に偏極ガンマ線強度の空間分布の測定法について述べる。レーザーコンプトン散乱ガンマ線の特徴の一つとして高偏極性が挙げられる。散乱中央部では入射レーザー光の偏光をほぼ 100%保存するので、直線偏極ガンマ線や円偏極ガンマ線が容易に得られる。また同じ直線偏極ガンマ線でも入射レーザー光の偏光が水平と垂直では空間分布が異なることが予想される。

偏極ガンマ線の測定には CO₂ レーザー(3W)を用い、

[#]E-mail:yasu-k@lasti.u-hyogo.ac.jp

まず IP による測定を行った。実験配置は図 1 の 1st, 2nd コリメータを外し、ステージ後方に IP をセットした。IP ではレーザーが垂直偏光の時と、レーザー off での電子ビームからの制動輻射による低エネルギー X 線バックグラウンドの 2 枚を照射時間 3600sec で撮った。次にスキャン法により偏極ガンマ線を測定した。この時の配置は先ほどの IP の時と同様に前 2 つのコリメータを外し、ステージには 1mmφ コリメータを設置し、後方の NaI 検出器でガンマ線を測定。スキャンの範囲は 20mm×20mm とし、1 点 5sec、0.5mm ステップで測定しスキャン画像を得た。

3. 結果と考察

3.1 ラジオグラフィ

得られたスキャン画像を図 2 に示す。Au, Al ロッドまた鉛もはっきりと確認できる。

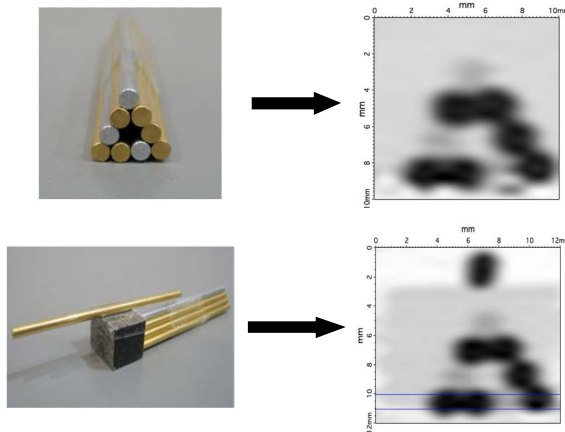


図 2: NaI 検出器により得られたスキャン画像

図 2 右側のスキャン画像は画像処理をして輪郭を滑らかにしてある。下段のサンプルは上段の金属サンプルの前に 10mm 四方の鉛を置いたもの。サンプルとスキャン画像を比べてみるとほぼ同じような画像が撮れていることが分かる。また図 2 下段スキャン画像の青線の部分のラインプロファイルを図 3 に示す。左端から 10mm 鉛でカウントが少し下がり、axial position 4mm の所では Au ロッドがあるのでカウントは大幅に減少。8.5mm 地点では Al ロッドがあり Au に比べてそれほどカウントの減衰はない。表 1 に各金属の透過率を示す。I₀ は 1mmφ コリメータを通過した光子数、I_{Pb} はサンプル前後の鉛板のみを透過した光子数、I_{Au} は I_{Pb} + Au ロッド (50mm) を透過した光子数、I_{Al} は I_{Pb} + Al ロッド (50mm) を透過した光子数を表している。I_{Pb}/I₀ と I_{Al}/I₀ は誤差数%で良く一致しており、比較的 S/N 比も良い。I_{Au}/I₀ は計算値でも透過率が 0.1% とかなり低く、S/N 比も悪いことから正確に測定できていたかは怪しいので今後の課題である。

これらより、画像から重金属内の物質の位置が分かり、ラインプロファイルからは吸収係数の差によって物質の違いが分かることが判明した。

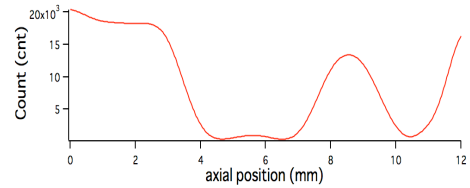


図 3: スキャン画像のラインプロファイル

表 1: 各金属における透過率の比較。

	計算値	実測値	S/N 比
I _{Pb} /I ₀	33%	31%	20.9
I _{Au} /I ₀	0.1%	0.8%	1.3
I _{Al} /I ₀	25%	24%	12.1

3.2 偏極ガンマ線の空間分布測定

得られた IP 像とスキャン画像、また計算値を図 4 に示す。

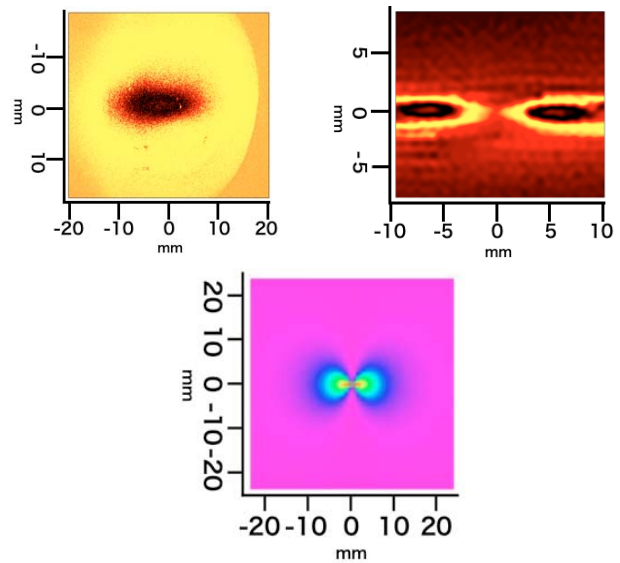


図 4: 直線偏極ガンマ線の空間分布図。IP 像(上段左)、スキャン画像(上段右)、計算値(下段)

図 4 に示した IP 像は低エネルギー X 線バックグラウンドを差し引きしたもので、下段の計算値は電子ビームのエミッタンスが 0 のときの計算値である。まず IP 像についてだが、IP は厚さも薄く高エネルギーのガンマ線に対しては感度が低下する為低エネルギーガンマ線によるノイズの影響が大きい。しかし垂直偏光のレーザーによるコンプトンガンマ線は水平に分布していると予想され、定性的には予想と合っている。また計算値は理想的電子ビームの計算で、実際に加速器を周回している電子ビームは有限のエミッタンスをもっているためガンマ線もこのような綺麗な 8 の字からずれると考えられる。またこの計算画像はレーザーと電子との衝突位置から約

50m 地点での計算である。今回の測定はレーザーと電子の衝突位置から約 10m 程度の所である。一方スキャン画像を見てみると、計算値に近い像になっていることが分かる。この画像はエネルギー0.3MeV以上のガンマ線のみを見ている。しかし、中心が抜けている理由が不明である。また干渉縞のような線が見え、ある一方向のスキャン時にのみ見えているのでスキャン方向を揃えることにより改善できると考えている。

1mmφ コリメータのガンマ線中心軸に対するアライメントや測定を自動化することにより、より正確な像の取得を目指す。

4. まとめ

3次元 CT 導入実験として2次元ラジオグラフィ、それに偏極ガンマ線の空間分布を測定した。

ラジオグラフィ測定の方では各金属の吸収係数の違いにより画像に明確な差が見られた。これをもとにして実験配置を最適化し、測定も自動化することで3次元 CT の測定を行う。偏極ガンマ線についても同様にイメージングの測定手法の確立を早急に目指す。

また、今後は透過ガンマ線イメージングだけではなく、サンプル内で生じたコンプトン散乱によるイメージングとか電子陽電子対消滅時に発生する511keV ガンマ線を用いたイメージング等も計画中である。

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] H.Toyokawa, Proc. "MeV 光子ビームによる陽電子生成および核共鳴ガンマ線を用いた利用研究" (第7回日本加速器学会年会, 姫路, 2010.8.4-6)
- [3] S.Amano, et al., Proc. "レーザーコンプトンガンマ線イメージングによる物質同定" (第7回日本加速器学会年会, 姫路, 2010.8.4-6)