

平成21年 5月25日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007-2008
 課題番号：19540289
 研究課題名（和文）新手法によるエネルギー可変レーザー逆コンプトンガンマ線発生に関する実験的研究
 研究課題名（英文） Experimental Studies on New Method for Energy Variable Laser Compton Backscattering Gamma-rays
 研究代表者
 大垣 英明（OHGAKI HIDEAKI）
 京都大学・エネルギー理工学研究所・教授
 研究者番号：10335226

研究成果の概要：

本研究では、研究代表者が新たに考案したコリメータ・アブソーバ法によるエネルギー可変ガンマ線発生に関して、実験的検証を行い、有効性について実証した。本手法により、固定エネルギーで運転している通常の蓄積リングにおいて、エネルギー可変のガンマ線を、収量をさほど低下させずに発生させる事が可能な事が示された。また、エネルギー可変ガンマ線を用いた NRF 法が単独の同位体検出のみならず、化合物の検出にも有効な事がわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合工学

科研費の分科・細目：原子力

キーワード：ガンマ線、逆コンプトン散乱、光核物理、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

エネルギーを連続的に自由に変えられる単色 X 線、 γ 線ビーム（両者を合わせてここでは光子ビームと呼ぶ）は、物質を構成する元素や原子核の固有情報や、放射線遮蔽等の基礎データを整備するために、無くてはならないものである。この理由から、古くは大強度の放射性同位元素（RI）からの γ 線を使用してきたが、エネルギーの上限が 2-3MeV と低く、近年では加速器からの制動放射を用いる方法が主流になっている。しかしながら、この手法で得られる光子は連続的なスペク

トルを有するため、高精度の実験データを得る事は非常に困難であった。

これに対し、高出力レーザーと相対論的電子ビームの衝突による逆コンプトン散乱現象を利用して、準単色なエネルギー可変光子ビームが得られるようになっている。研究代表者は、平成元年より蓄積リングを用いたエネルギー可変ガンマ線ビームの生成と利用に関する研究を行ってきており、電子技術総合研究所（産業技術総合研究所）において国内初の高偏極ガンマ線ビーム（レーザー逆コンプトンガンマ線）の生成に成功した。

この手法において、連続的にガンマ線ビームのエネルギーを変えるためには、

- 1) 蓄積リングの電子ビームのエネルギー
- 2) レーザーの波長

の何れかを連続的に変える事が必要となっているが、広い波長を連続的に変えられる高出力レーザーが存在しない現状では、電子ビームのエネルギーを変えざるを得ない。しかしながら、電子ビームのエネルギーを変える事により、電子ビームの質が変化し、結果として広範囲なエネルギースキャンでは、データの質を劣化させてしまう問題点があった。また通常、蓄積リングは一定の電子エネルギーで運転しており、エネルギー可変ガンマ線ビームの発生は困難である。これに対し、研究代表者は、逆コンプトン散乱ガンマ線ビームのエネルギーの角度依存性を利用した独自のエネルギー可変レーザー逆コンプトンガンマ線を生成する方法を考案し特許を出願した。

2. 研究の目的

本研究では、レーザー逆コンプトン散乱ガンマ線ビームのエネルギーが散乱角に依存する事に着目した独自のエネルギー可変光子ビームを生成する方法について実験による実証研究を行う。

本提案手法は、コリメータのような最大散乱角を規定する装置と、アブソーバのような、最小散乱角を規定する装置を組み合わせ、それらの幾何学的大きさや位置を連続的に変えることで、エネルギー可変ガンマ線ビームを生成するという、非常に簡便な方法である。このために、本手法は、既存の装置を変更すること無く実施が可能である。さらに、これまでの解析的手法及び、計算器シミュレーションによる事前研究において、広範囲でのエネルギー可変性とビーム収量について従来の手法を遥かに凌駕する結果を得られており、本研究期間中に本手法によるエネルギー可変性、エネルギースペクトル特性、ビーム収量について実証実験を行う。また事前研究において、解析的手法と計算器シミュレーションとの間にエネルギースペクトル特性について多少の相違をみている。この点については実験結果を用いた詳細な解析を行い、モデルの修正と本手法の問題点の抽出を行い、実験・理論の両面における検討により本手法の確立を目指す

3. 研究の方法

本研究では、本手法の原理実証実験を実施するための

- 1)コリメータ・アブソーバ装置の設計・製作
- 2)原理実証実験
- 3)シミュレーションによる手法の検討

を行う。
年次展開として、

	平成19年度	平成20年度	
コリメータ・アブソーバの製作	設計・試作		研究のまとめ
原理実証実験		産総研LCS施設でのビーム計測	
解析的手法及びシミュレーションによる検討		結果の解析	

を掲げる。

- 1) コリメータ・アブソーバ装置の設計・製作
研究代表者が考案した、散乱光子ビームエネルギーの散乱角依存性に着目した、最大、最小散乱角を幾何学的に規定する装置（図1、ここでは「コリメータ・アブソーバ装置」と呼ぶ）の設計とその試作を行う。

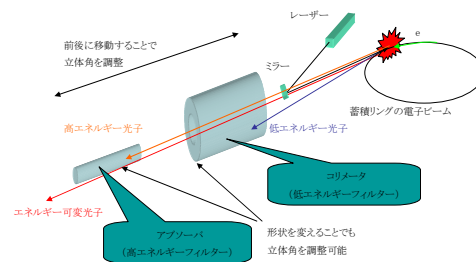


図1 本手法の概念図

2) 原理実証実験

1) で試作したコリメータ・アブソーバ装置を用いて、エネルギー可変光子ビームの発生を行い、エネルギー可変性、エネルギースペクトル特性、ビーム収量について測定を行う。また、エネルギー可変ガンマ線を用いた光核共鳴散乱実験を行い、その有効性について検証を行う。

3) シミュレーションによる手法の検討

上記の原理実証実験により得られたデータの解析を行い、シミュレーションからの結果との比較・検討を行い、必要があれば物理モデルや計算コードの修正を行うことで、本手法の確立を目指す。

事前研究において、基本となるモンテカルロ法を用いた計算器コードの開発を行っている。今回はこの計算器コードにアブソーバを導入し、シミュレーションを行う。

4. 研究成果

本研究ではまず、原理実証のためにコリメータ・アブソーバ装置の設計・製作を行った。作成した装置は、精密位置決め機構付きの直径 8mm の鉛コリメータ (20cmx20cm) と直径 8mm の鉛アブソーバ (長さ 10cm) である。(図2)

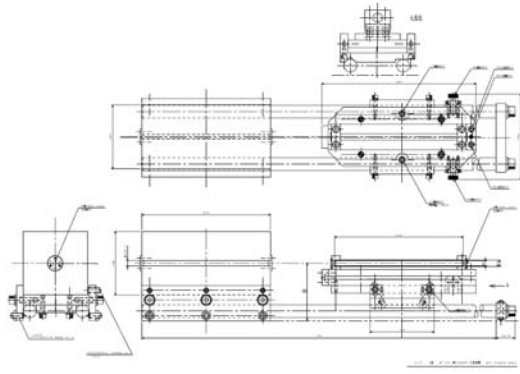


図2 コリメータ・アブソーバ装置

次にこの装置を、産業技術研究所レーザーコンプトンガンマ線利用施設のビームラインに設置し、原理実証実験を行った。原理実証実験では、電子ビームのエネルギーを600MeVにし、波長1064nm、出力1WのCWレーザーを持って実験を行った。図3に示すように、エネルギー可変装置を導入しない場合、 γ 線の最高エネルギーは5.7MeVであり、エネルギー幅は8mm コリメータを電子とレーザーの衝突点から6.2m 下流に設置した場合、16% (FWHM) であった。

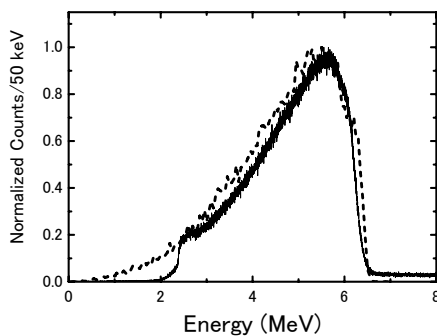


図3 通常的手法によるエネルギー可変ガンマ線のスペクトル

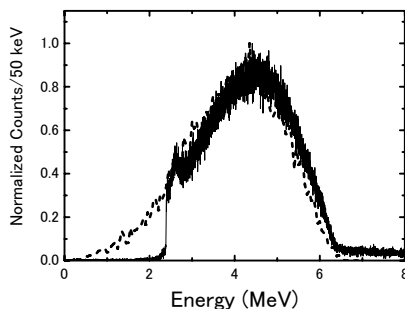


図4 本手法によるエネルギー可変ガンマ線のスペクトル。アブソーバの位置は370cm コリメータから後方。

次に、図4に示すように、エネルギー可変装置を用いた場合では、アブソーバの位置をコリメータから555cm 後方に設置にした場合、最高エネルギー4.75MeV でエネルギー広がり25% (FWHM)、465cm 後方の場合、最高エネルギー4.62MeV でエネルギー広がり25% (FWHM)、370cm 後方の場合、最高エネルギー4.55MeV でエネルギー広がり23% (FWHM) という値を得た。なお測定には8インチx10インチ NaI(Tl) 検出器を用いた。この検出器のエネルギー分解能はCs に対して約8%となっている。

一方、ガンマ線の収量に関しては、アブソーバの位置(555cm、465cm、370cm)に対してそれぞれエネルギー可変装置のない場合に比べて(37%、31%、22%)となった。

(図5) この結果はアブソーバの立体角に対し良い相関を示した。更に、モンテカルロ法によるシミュレーションコードを開発し、計算を行ったところ、実験結果を再現する結果が得られた。図3、4中の実線が実験値であり、点線がシミュレーションの結果である。

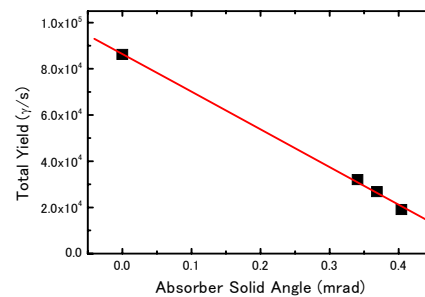


図5 ガンマ線の収量

さらに、本手法で得られるエネルギー可変ガンマ線の有効性を調べるために、産業技術研究所レーザーコンプトンガンマ線利用施設のビームラインを用いて、核共鳴散乱実験(NRF)を行った。この実験では530 MeVの電子と1064 nmの波長のレーザーを衝突させて最大エネルギーが5 MeVのガンマ線を発生させ、コリメータを調整し4~5 MeVのLCSガンマ線を生成した。このLCSガンマ線を15mmの厚さの鉄と4mmの厚さの鉛を透過させて対象試料であるメラミン($C_3H_6N_6$)に照射した。メラミン中の炭素-12及び窒素-14からNRFにより放出されたガンマ線を、高分解能ガンマ線検出器で計測した。遮蔽されたメラミンの炭素と窒素の比を、ガンマ線のエネルギースペクトルのピーク面積から求め、検出器の検出効率等の補正を行った結果、炭素と窒素の比は炭素/窒素=0.39

±0.12 であり、メラミンの炭素/窒素=0.5 と誤差の範囲で一致した。

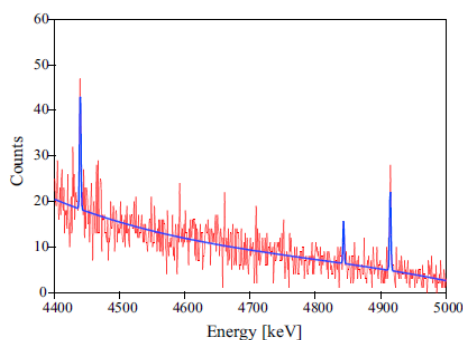


図6 エネルギー可変ガンマ線を用いたメラミンに対する NRF スペクトル。
4439keV (12C) と 4915keV (14N) に明確な NRF ピークが観測された。

以上の結果、本研究により研究代表者が新たに考案したコリメータ・アブソーバ法によるエネルギー可変ガンマ線発生に関して、その実証に成功したと結論できる。本手法により、固定エネルギーで運転している通常の蓄積リングにおいて、エネルギー可変のガンマ線を、収量をさほど低下させずに発生させる事が可能な事が示された。また、エネルギー可変ガンマ線を用いた NRF 法が単独の同位体検出のみならず、化合物の検出にも有効な事がわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① H. Ohgaki, T. Kii, and H. Toyokawa, A New Method for Generation of Tunable Gamma-ray with a Fixed Energy Electron Beam, IEEE Transactions on Nuclear Science, in publish, 2009, 査読有

② N. Kikuzawa, R. Hajima, N. Nishimori, E. Minehara, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, and H. Ohgaki, Nondestructive Detection of Heavily Shielded Materials by Using Nuclear Resonance Fluorescence with a Laser-Compton Scattering γ -ray Source, Applied Physics Express, 036502-1-3, 2009, 査読有

③ T. Shizuma, T. Hayakawa, H. Ohgaki, H. Toyokawa, T. Komatsubara, N. Kikuzawa, A. Tamii, and H. Nakada, Fine structure of the magnetic-dipole-strength distribution in ^{208}Pb , Phys. Rev. C, 061303-1-4, 2008,

査読有

④ H. Ohgaki, S. Koda, Y. Iwasaki, Y. Takabayashi, K. Yoshida, T. Tomimasu, Y. Uozumi, and K. Ishibashi, Study on Energy Variable Laser-Compton Gamma-ray with a Fixed Energy Electron Beam, Journal of Nuclear Science and Technology, pp.698-702, 2007, 査読有

[学会発表] (計 8 件)

① 静間俊行、早川岳人、菊澤信宏、大垣英明、豊川弘之、小松原哲郎、レーザー逆コンプトン散乱ガンマ線による鉄領域核の核共鳴散乱実験、日本物理学会 第64回年次大会、2009.3.28、立教大学

② H. Ohgaki, K. Masuda, H. Zen, R. Kinjo, K. Higashimura, M.A. Bakr, T. Kii, Electron Beam and Radiation Sources for Advanced Energy Sciences in Japan, The 4th Workshop on Electron Beam Applications & Korea-Japan Joint Workshop on Quantum Radiation Sources for Advanced Science, 2009.3.13, Daejeon, Korea

③ 大垣英明、レーザーコンプトン散乱による γ 線生成システムの進展と今後の応用について、SAGA-LSセミナー、2009.2.27、鳥栖市、佐賀県

④ 大垣英明、紀井俊輝、増田開、菊澤信宏、羽島良一、早川岳人、静間俊行、峰原英介、豊川弘之、鈴木良一、核共鳴散乱を用いた物質同定に関する研究、日本原子力学会 2008 年秋の年会、2008.9.5、高知工科大学

⑤ 菊澤信宏、羽島良一、早川岳人、静間俊行、峰原英介、豊川弘之、大垣英明、Geant4 による NRF のシミュレーションコード開発、日本原子力学会 2008 年秋の年会、2008.9.5、高知工科大学

⑥ H. Ohgaki, T. Kii, H. Toyokawa, A New Method of Tunable Gamma-ray with a Fixed Energy Electron Beam, SORMA West 2008, 2008.6.2, Berkeley, Cal. U.S.A

⑦ 大垣英明、レーザーコンプトン γ 線に関する最近の動向、量子ビーム科学研究会、2008.1.18、九州シンクロトロン光研究センター

⑧ 大垣英明、紀井俊輝、豊川弘之、魚住裕介、石橋健二、今村稔、福田博明、静間俊行、江田茂、岩崎能尊、高林雄一、吉田勝英、固定

エネルギー電子ビームに対するレーザーコンプトン散乱 ガンマ線のエネルギー可変手法 に関する研究 - 実験、2007年日本原子力学会秋の大会、2007.9.28、北九州国際会議場

○取得状況 (計1件)

名称：エネルギー可変光子ビーム発生法

発明者：大垣英明

権利者：京都大学

種類：特願

番号：006-068455

取得年月日：2006/3/13

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大垣英明 (Ohgaki Hideaki)

京都大学・エネルギー理工学研究所・教授

研究者番号：10335226

(2) 研究分担者

紀井俊輝 (Kii Toshiteru)

京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授

研究者番号：30314280

豊川弘之 (Toyokawa Hiroyuki)

(独) 産業技術総合研究所・計測フロンティア

研究部門・主任研究員

研究者番号：80357582

(3) 連携研究者

該当なし