

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008 ～ 2009

課題番号：20840045

研究課題名（和文）原子核におけるパリティの破れの研究を目指した大強度
逆コンプトン散乱 X 線源の開発研究課題名（英文）Development of Compton backscattered intense X-ray source
for the study of nuclear parity violation

研究代表者

川瀬 啓悟 (KAWASE KEIGO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究員

研究者番号：60455277

研究成果の概要（和文）：

原子力機構関西光科学研究所ではマイクロトロン電子加速器によって 150 MeV まで加速された電子ビームと Nd:YAG レーザーとを用いて逆コンプトン散乱による逆コンプトン散乱 X 線源開発を実施している。発生する X 線のエネルギーは最大 400 keV であり、この光源は原子核研究にも利用できる。本研究では、レーザーとの衝突点における電子ビームスポットの集束向上を実施することで X 線強度の増大させ、原子核研究への実用光源開発を進めた。本研究の結果、これまでの結果と比較して 10 倍の強度増大を達成した。今後、さらにビームスタディを実施することで実用 X 線光源を目指す。

研究成果の概要（英文）：

At the Kansai Photon Science Institute of the Japan Atomic Energy Agency, we have developed a Compton Backscattered X-ray source by using the electron beam accelerated to 150 MeV by the Microtron accelerator and the Nd:YAG laser. Because the maximum energy of the generated X-rays is 400 keV, this source is applicable to the study of nuclear physics. In this study, we made the increasing of the intensity of the generated X-rays, and thus we carried on the development of actual use source for the nuclear study. As a result of this study, we achieved the 10 times increasing of the X-ray intensity comparing to the previous experiment. Hereafter, we aim to develop the actual use X-ray source by making more beam study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,240,000	372,000	1,612,000
2009 年度	320,000	96,000	416,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,560,000	468,000	2,028,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：光源技術・加速器・原子核物理

1. 研究開始当初の背景

近年、レーザーと高エネルギー電子ビームとの衝突による逆コンプトン散乱X線源の開発・利用が様々なグループによって進められている。このX線源の特徴は、ほぼ100%の直線偏光または円偏光ビームが得られることである。また、スリット等により、簡単に準単色スペクトルを得ることができる。そのため、素粒子・原子核研究への利用はもとより、そのエネルギーによって物性研究への利用も進んでいる。

研究代表者はこれまでに円偏光逆コンプトン散乱X線ビームを利用した核共鳴蛍光による原子核におけるパリティ非保存の研究の可能性について議論してきた。この研究を実験的に実施するためには 10^9 photons/sec 以上の大強度のX線ビームを安定に発生させる必要がある。その前段階として、原子核の共鳴蛍光を観測するためには、 10^5 photons/sec 程度のX線ビームが必要である。そこで研究代表者は、原子力機構関西研において大強度X線源を構築するために、マイクロトロン電子加速器とNd:YAGレーザーとを用いて逆コンプトン散乱X線光源の開発を進めている。本研究開始当初においてX線強度は数 10^2 photons/sec であり、この光源の利用研究には、さらに強度を増大させることが必要であった。

2. 研究の目的

逆コンプトン散乱に利用している電子ビームの輸送および集束を最適化し、衝突点における強度を増大させることで逆コンプトン散乱X線源の強度を増大させ、原子核共鳴蛍光実験へ利用可能な光源を構築することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

原子力機構関西研ではマイクロトロン電子加速器で150 MeVまで加速された電子ビームと波長1064 nmのレーザーとを衝突させることで最大エネルギー400 keVの偏光X線ビームを発生させている。加速器、レーザーともに10 Hzで駆動しており、加速器のRF信号でレーザーをトリガーさせることで両者の同期をとっている。電子ビームの強度はパルス当たり60 pCでパルス幅は10 psであり、レーザー強度は1.6 Jでパルス幅10 nsである。本研究では、レーザーとの衝突点において最適なビームサイズとなるように電子ビーム輸送の設計を実施し、それをもとに

ビームラインの最適化を実施した。ここではよりビーム集束を向上させるために、真空チャンバー内の衝突点直前に永久磁石製四重極磁石を自動ステージで可動として設置した(図1)。

X線発生実験を実施する前に電子ビームの輸送の最適化を実施した。ここでは衝突点で電子ビームが最も集束するような輸送をあらかじめ計算で評価してから、レーザーとの衝突地点よりも上流でビーム調整を実施し、実際に衝突点におけるビーム集束を観測しながら調整した。衝突点における電子ビームおよびレーザーのスポットは、衝突点を拡大観測しているCCDカメラを用いたスポットモニター光学系によって計測し、ビームアライメントおよび集束調整を実施した。これに先立ち、本研究時点での電子ビームの横方向エミッタンスをビームラインの四重極電磁石と蛍光板ビームモニターとを用いて計測することで、ビーム輸送評価にフィードバックさせ、より実際に近い計算評価を実施した。エミッタンス測定の結果を図2に記す。このときのビームエミッタンスは規格化エミッタンスで縦横それぞれ $30.5 \mu\text{mm mrad}$ 、 $36.4 \mu\text{mm mrad}$ であった。

その後、逆コンプトン散乱X線の発生をLYSOシンチレータで観測し、強度が最大となりかつ、バックグラウンドが低減されるように、さらにパラメーターを調整した。ここで発生させたX線はpsオーダーのパルスで発生するため、フォトンカウンティングによる分光強度計測ではなく、パルスあたりに含まれるX線の全エネルギーを測定する方法をとっている。

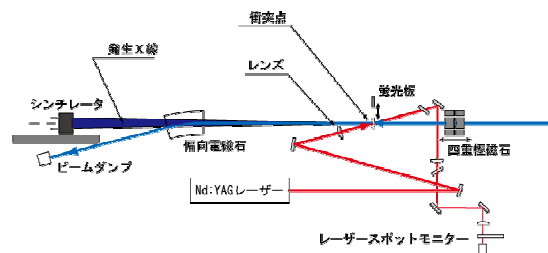


図1：逆コンプトン散乱X線発生の実験レイアウト。衝突点直前に永久磁石製四重極磁石を導入した。

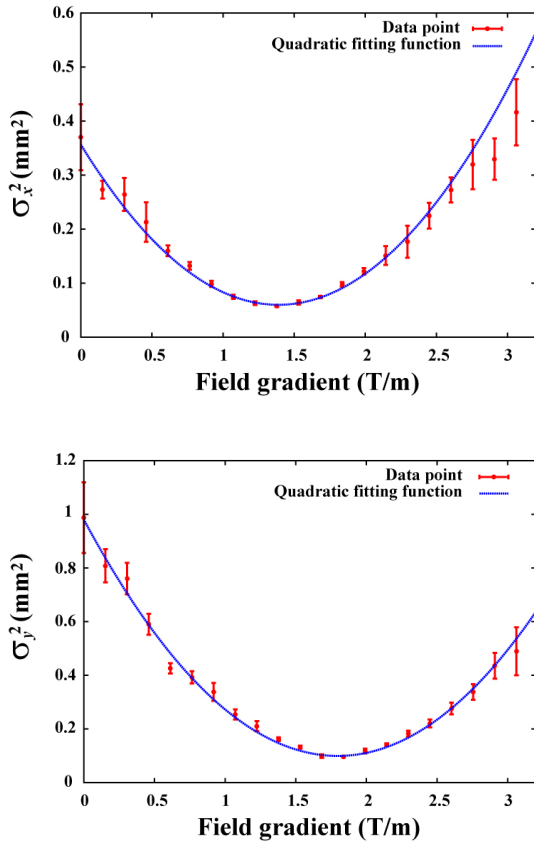


図2：ビーム輸送ライン上の四重極電磁石によるエミッタンス計測のためのQスキャンの結果。

4. 研究成果

ビーム調整後、X線強度およびバックグラウンド強度の最適化を実施した結果、残念ながら四重極永久磁石で大きな改善は見られなかった。ビーム輸送計算コードTRACE-3Dであらかじめ評価した結果では、永久磁石を挿入することで、ビームスポットが小さくなる結果を得ており、この点に関してはビームを用いたスタディをさらに実施する必要がある。

しかしながらX線ビーム発生に関しては、電子ビームとレーザーパルスの衝突タイミングを詳細に最適化することで、以前の結果と比較して発生X線強度の向上が見られた。本実験において得られた逆コンプトン散乱X線測定の結果を図3に記す。シミュレーションコードEGS4を用いて、LYSO検出器の検出効率を見積もった結果を考慮すると、測定結果から見積もることができるX線強度は220 photon/pulseであった。これは以前の結果の10倍の強度である。

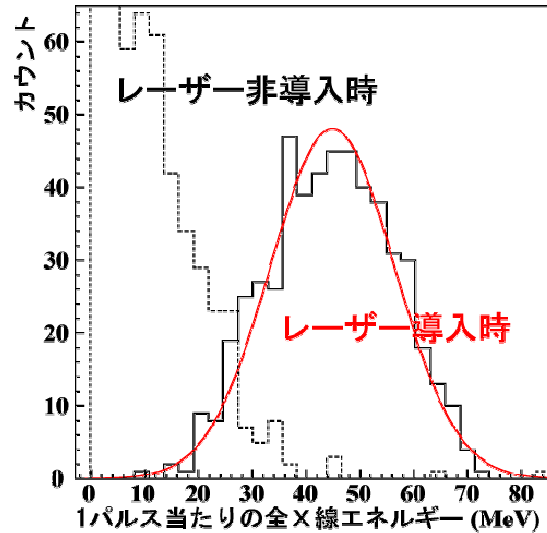


図3：LYSO検出器による1パルス当たりが発生した逆コンプトン散乱X線の測定結果。本測定では、電子ビーム10 Hzに対してレーザー5 Hzで駆動することでレーザー導入時、非導入時を交互に計測することで、長時間のビームドリフト等による強度変化の影響を取り除いている。

以上本研究の成果をまとめると、これまでの研究結果と比較して逆コンプトン散乱X線の発生強度の増大を達成できたが、ビーム輸送計算から評価した四重極永久磁石によるビーム集束の向上に関してはさらに詳細なビームスタディを実施する必要がある。今後は本研究成果をもとに、さらにX線強度が増大できるように電子ビーム・レーザーの衝突ジオメトリの変更、レーザーパルス圧縮によるピーク強度増大、等を組み合わせることで大強度X線源を実現し、原子核研究への利用等につなげていく。

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1件)

- ① K. Kawase, M. Kando, et al.,
“Development of a sub-MeV X-ray source via Compton backscattering”,
Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. A,
in press (2010), 査読有

[学会発表] (計4件)

- ① K. Kawase, M. Kando, et al.,
“Development of sub-MeV X-ray source via Compton backscattering”,

Ultrashort Electron & Photon Beam
Techniques and Applications, Poster,
Xian, China, 2009.9

- ② 川瀬 啓悟、下村 拓也、他、
”逆コンプトン散乱光源のためのレーザー
パルス圧縮システム構築の現状”、
原子力学会 2010 年春の年会、口頭発表、
茨城大学、2010.3.28
- ③ 川瀬 啓悟、神門 正城、他、
”Sub-MeV 領域の逆コンプトン散乱 X 線
源開発の現状-SBS によるレーザーパルス
圧縮”、
日本物理学会第 64 回年次大会、口頭発
表、立教大学、2009.3.28
- ④ 川瀬 啓悟、神門 正城、他、
”Sub-MeV 領域の逆コンプトン散乱 X 線
源開発の現状”、
日本原子力学会 2009 年春の年会、口頭
発表、東京工業大学、2009.3.25

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

特になし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川瀬 啓悟 (KAWASE KEIGO)

独立行政法人日本原子力研究開発機
構・量子ビーム応用研究部門・研究職

研究者番号：

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし