

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654056

研究課題名(和文) 8 GeV 単色光子ビーム生成の基礎研究

研究課題名(英文) A study of 8 GeV mono-energetic photon beam production

研究代表者

清水 肇 (SHIMIZU, Hajime)

東北大学・電子光物理学研究センター・教授

研究者番号：20178982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000 円、(間接経費) 900,000 円

研究成果の概要(和文)：この研究は、まだ世の中に存在しない高エネルギー単色光子ビームの生成に向けた基礎研究です。SPring-8から得られる放射光X線を再びSPring-8内に蓄積している80億電子ボルトの電子に衝突させ、そこから得られる単色の光子ビームを実用化することを目指しています。この研究は、次の3つのステップで進めています。1)放射光X線を180度反射させること。2)それを蓄積電子に正面衝突させること。3)その衝突で180度に散乱されたX線放射光は高エネルギーの単色光子となり、これをガンマ線検出器で測定すること。

本研究では、その第一段階に到達しました。但し、まだ強度は弱く、更なる研究が必要です。

研究成果の概要(英文)： This project aims at making a high energy mono-energetic photon beam possible by reflecting synchrotron radiation X-ray to have Compton backward scattering from circulating 8 GeV electrons in the SPring-8 storage ring. The first thing to do is to reflect synchrotron radiation X-ray by 180 degrees. Second, the reflected X-ray has to be controlled to give a head-on collision with 8 GeV electrons circulating in the ring. Then finally, we will be able to observe high energy mono-energetic photons produced by means of Compton backward scattering of the reflected X-ray from the 8 GeV electrons.

It takes more time to attain the final goal. And we are still at the first stage. In the present project we succeeded in measuring 180-degree reflected 9.1 keV X-ray of synchrotron radiation, employing a Si(008) Bragg reflector.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：逆コンプトン散乱 レーザー電子光 X-FEL0 アンジュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

GeV 領域の光子ビームを用いたハドロン物理の研究は、国外では JLAB や Bonn, Mainz など精力的に行われている。これらの施設では、電子の制動輻射によって強力な光子ビームを生成している。しかし、エネルギー標識化された光子ビームの強度は、どんなに電子ビームの強度を上げて、高々 $\sim 10^7$ 光子/s程度に押さえられている。これは、制動輻射ビームが莫大な量の低エネルギー成分を含むことによる。これに対して、レーザー電子光ビームは、制動輻射ビームに比べて低エネルギー成分は圧倒的に少ないため $\sim 10^8$ 光子/sの強度で実験が可能となる。更に、本研究ではレーザーの代わりに放射光 X 線を用いることによって、8 GeV の単色光子ビームの実現を目指しており、これが実現すれば、光子ビームによるハドロン物理研究において、世界に類を見ない正に夢の実験手段を得ることになる。

低エネルギー成分を殆ど持たない「きれいな GeV 光子ビーム」は、これを用いるあらゆる実験の質を向上させ、クォーク核物理の新しい局面を切り拓く手段を与える。実際、これまでに行われた LEPS ビームによる測定では、前方 $3^\circ$ の $\pi^0$ 事象がシングルトリガーできれいに切り取られている。この経験から、今後、超前方事象を捉える実験では、LEPS2 は正に独壇場になると期待される。例えば、8 GeV 単色光子ビームと原子核のつくる電場による超前方 $2\gamma$ 反応を用いれば、質量が 2 GeV 程度までの全てのスカラームeson及び擬スカラームesonの $2\gamma$ 崩壊幅を決定でき、メソンのカイラル対称性や $U_A(1)$ 問題を掘り下げることができる。又、このビームを強磁場中に導き、その複屈折(birefringence)を測定すれば、QED における高次効果を調べることができる。等々、他の施設ではできないユニークな研究が展開される筈である。特に、超前方事象に関する研究の世界的センターとなると期待できる。

### 2. 研究の目的

この研究は、8 GeV の SPring-8 蓄積電子とそこから得られる強力な X 線領域の放射光とのコンプトン散乱による GeV 領域の単色光子ビーム実用化のための基礎研究である。

LEPS2 は、レーザーを SPring-8 蓄積電子に入射してその反跳で得られる GeV 領域のレーザー電子光ビームを供給するビームラインである。現時点では、波長 266nm のレーザーを入射することによって最高エネルギーが 2.9 GeV のレーザー電子光ビームを得ており、数台のレーザーを同時入射して得られる大強度レーザー電子光をクォーク核物理研究に利用している。本研究は、このレーザーに代わって X 線領域の放射光を再び蓄積電子に入射して得られる高エネルギー単色光子ビームの実現を目指している。

### 3. 研究の方法

SPring-8 から放出される X 線領域の放射光を再び SPring-8 に入射し、8 GeV 蓄積電子と

の正面衝突を行った場合に得られる $180^\circ$ コンプトン散乱の光子エネルギーは、図1の通りである。これより、100 eV の放射光を入射すれば、

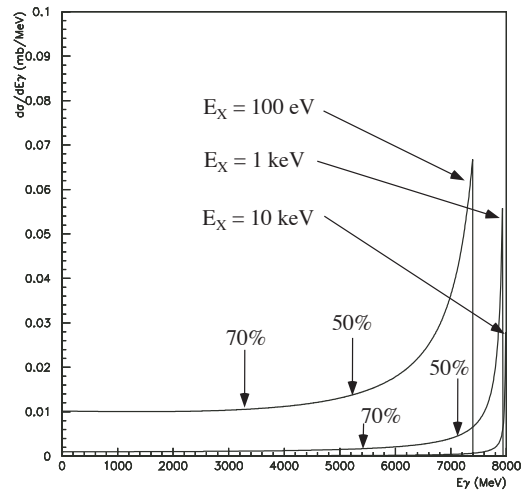


図1. 放射光 X 線と 8 GeV 蓄積電子との散乱による準単色光子のエネルギースペクトル

7.5 GeV の準単色光子ビームが得られ、10 keV の放射光なら 8 GeV 単色光子ビームが得られることが分かる。この方法で、高エネルギー準単色光子ビームを実現するためには、次のステップが必要である。

(1) SPring-8 アンジュレータから放出される X 線領域の放射光を Bragg 反射鏡を用いて $180^\circ$ 反射( $90^\circ$ 背面反射)させる。

(2) 背面反射した X 線を再び SPring-8 に入射し、8 GeV 蓄積電子に正面衝突させる。

(3) X 線は、蓄積電子によって $180^\circ$ に散乱されることによって高エネルギー準単色光子となる。これをガンマ線検出器 BGOB1 で検出する。

### 4. 研究成果

当初から想定されていたように、X 線の作像技術が十分でない現状では、高エネルギー単色光子ビームの実現は一足飛びには行かない。しかし、第一段階における小さいながら着実な成果は得られた。

まず、直径 80mm 長さ 300mm の円筒形大型 BGO 単結晶 1 本を用いて、高エネルギーガンマ線検出器 BGOB1 を製作し、建設中であった LEPS2 ビームライン (BL31LEP) でこれをテストした。その結果を図2に示す。LEPS2 ビームラインで使用されている2種類の紫外線レーザー (355nm, 266nm) と 8 GeV 蓄積電子とのコンプトン散乱によって生成された 2.4 GeV と 2.9 GeV のレーザー電子光と SPring-8 内の残留ガスによる 8 GeV までの制動輻射光に対応するガンマ線スペクトルである。ここに、355nm (266nm) のレーザーを入射したときのスペクトルは黒 (青) で示されている。また、レーザーをオフにした場合のスペクトルは、赤で表されている。この測定結果は、高エネルギー

ーガンマ線検出器 BGOB1 が高エネルギー単色光子を測定するのに十分な性能を持っていることを示している。BGOB1 はコンパクトな検出

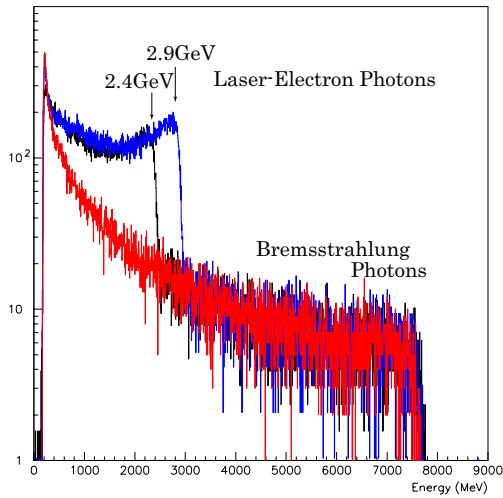


図2. LEPS2におけるレーザー電子光と制動輻射光のエネルギースペクトル  
黒：355nm レーザー ON  
青：266nm レーザー ON  
赤：レーザー OFF

器であり、どんなビームラインにも運んで行けるというメリットがあり、今後 GeV 領域のガンマ線測定に威力を発揮すると期待できる。

本研究の第一段階は、SPring-8 アンジュレータから放出される X 線領域の放射光を 180° 反射させることである。この研究は、SPring-8 加速器部門の研究者との連携研究であり、当初の予定通り、診断用ビームライン BL05 で実験を行うことになった。最終的にはビームラインの大幅な改造が必要であるが、それにはなお時間を要する。本研究では、BL05 の分光器下流の

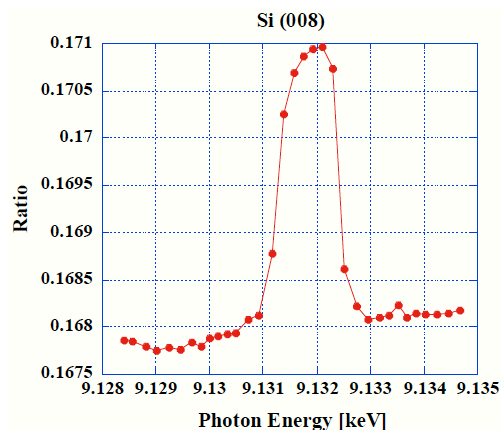


図3. 2つのイオンチェンバで観測された電流の比

ビームライン上にアルミ膜の吸収層を挟んで2つのイオンチェンバを列べ、ビームライン終端に Si(008)Bragg 反射鏡を設置した。これにアンジュレータからの放射光 X 線を入射した。入

射光と反射光の和を2つのイオンチェンバで測定し、その比をとる。これを反射鏡をとりのぞいた場合の比と比べることにより反射率を導出した。

現時点では、アンジュレータからの強力な X 線をそのまま背面反射できる反射鏡は存在しないので、SPring-8 蓄積リングの蓄積電流を絞って実験を行った。その結果、アンジュレータ放射光を分光器で切り出したスペクトル幅を持つ 9.1 keV の X 線の 180° 反射を捉えることに成功した。図3は、2つのイオンチェンバで観測した電流の比をプロットしたものである。この測定結果から、約6%の背面反射が起こったことが帰結される。この結果を受け、今後、ビームラインを改造することによって、180° 反射されたアンジュレータ放射光と SPring-8 蓄積電子とのコンプトン散乱実現への道が開けた。

## 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 N. Muramatsu, Y. Kon, S. Daté, Y. Ohashi, H. Akimune, J.Y. Chen, M. Fujiwara, S. Hasegawa, T. Hotta, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kohri, T. Matsumura, T. Mibe, Y. Miyachi, Y. Morino, T. Nakano, Y. Nakatsugawa, H. Ohkuma, T. Ohta, M. Oka, T. Sawada, A. Wakai, K. Yonehara, C.J. Yoon, T. Yorita, M. Yosoi, Development of High Intensity Laser-Electron Photon Beams up to 2.9 GeV at the SPring-8 LEPS Beamline, Nucl. Instr. Meth. A737 (2014) 184-194.

査読有

- ② 村松憲仁 與曾井優 依田哲彦 鈴木伸介, SPring-8新レーザー電子光ビームライン LEPS2: 建設とコミッションング, 学会誌「加速器」vol.10 No.3 (2013) 171-180. 査読無
- ③ 村松憲仁 中野貴志 與曾井優 依田哲彦 清水肇 石川貴嗣 宮部学, レーザー電子光ビームライン(BL31LEP)稼働, SPring-8利用者情報 vol.18 No.2 (2013) 75-79. 査読無
- ④ T. Ishikawa, H. Fujimura, R. Hashimoto, J. Kasagi, R. Kitazawa, S. Kuwasaki, A. Nakamura, K. Nawa, Y. Okada, M. Sato, H. Shimizu, K. Suzuki, Y. Tajima, S. Takahashi, Y. Tsuchikawa, H. Yamazaki, H.Y. Yoshida, A detailed test of a BSO calorimeter with 100-800 MeV positrons, Nucl. Instr. Meth. A694 (2012) 348-360. 査読有

[学会発表] (計6件)

- ① M. Miyabe, Recent result of LEPS and

prospects of LEPS2, Hadrons from Quarks and Gluons, Jan.13, 2014, Hirschegg, Austria.

② M. Miyabe, Recent status and plans at SPring-8 LEPS2 facility, TITP Workshop on Hadron in Nucleus, Nov. 1, 2013, Kyoto University.

③ N. Muramatsu, First Beam Observation and Near Future Plans at SPring-8 LEPS2 Experiment, International Conference on the Structure of Baryons, June 27, 2013, Glasgow, Scotland.

④ T. Yorita, N. Muramatsu, T. Hotta, T. Nakano, M. Oka, M. Yosoi, S. Date, Y. Ohashi, H. Ohkuma, M. Oishi, Y. Okayasu, M. Shoji, S. Suzuki, Y. Taniuchi, Production of Intense High Energy Gamma Beam for LEPS2 Project at SPring-8, 4<sup>th</sup> International Particle Accelerator Conference, May 15, 2013, China.

⑤ H. Shimizu, Physics Programs at ELPH Tohoku, 2<sup>nd</sup> International School for Strangeness Nuclear Physics, Feb. 20, 2013, Sendai.

⑥ N. Muramatsu, Recent Progress and Results of LEPS, LEPS2, and ELPH, 20<sup>th</sup> International IUPAP Conference on Few Body Problems, Aug. 21, 2012, Fukuoka.

[その他]

ホームページ等

<http://www.lns.tohoku.ac.jp/~hadron/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

清水 肇 (SHIMIZU, HAJIME)

東北大学・電子光理学研究センター・教授

研究者番号： 20178982

### (2) 研究分担者

村松 憲仁 (MURAMATSU, NORIHITO)

東北大学・電子光理学研究センター・准教授

研究者番号： 40397766

### (3) 研究分担者

宮部 学 (MIYABE, MANABU)

東北大学・電子光理学研究センター・助教

研究者番号： 10613672