

GAMMA-RAYS GENERATION EXPERIMENT WITH THE OPTICAL RESONANT CAVITY FOR ILC POLARIZED POSITRON SOURCE AT THE KEK-ATF II

Tomoya Akagi^{1,A)}, Sakae Araki^{B)}, Yasuaki Ushio^{A)}, Junji Urakawa^{B)}, Tsunehiko Omori^{B)},
Toshiyuki Okugi^{B)}, Masao Kuriki^{A)}, Kazuyuki Sakaue^{C)}, Hirotaka Shimizu^{B)}, Tohru Takahashi^{A)},
Nobuhiro Terunuma^{B)}, Tachishige Hirose^{C)}, Yoshisato Funahashi^{B)}, Guoxi Pei^{D)}, Yosuke Honda^{B)},
Shuhei Miyoshi^{A)}, XiaoPing Li^{D)}, Masakazu Washio^{C)}

A) Graduate School of Advanced Science of Matter, Hiroshima University
Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8530, Japan

B) High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

C) Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Tokyo 162-0044, Japan

D) Institute of High Energy physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract

We performed a photon generation experiment by laser-Compton scattering at the KEK-ATF, aiming to develop a Compton based polarized positron source for linear colliders. In the experiment, laser pulses with a 357 MHz repetition rate were accumulated and their power was enhanced by up to 250 times in the Fabry-Perot optical resonant cavity. We succeeded in synchronizing the laser pulses and colliding them with the 1.3 GeV electron beam in the ATF ring while maintaining the laser pulse accumulation in the cavity. As a result, we observed 28.1 ± 0.1 photons per electron-laser pulse crossing, which corresponds to a yield of 10^8 photons in a second.

KEK-ATFにおけるILC偏極陽電子源の為の 光蓄積共振器を用いた高輝度ガンマ線生成実験II

1. はじめに

国際リニアコライダー (ILC)は物理現象の精密な測定のためにスピンの揃った偏極電子を要求している。それに加えて、さらなる測定精度向上の為に陽電子も偏極させることが望ましい。偏極陽電子は約10MeVの偏極ガンマ線を金属標的に衝突させ、対生成によって生成される。そのため高輝度の偏極ガンマ線の生成は偏極陽電子源のための主要な技術となる。ILCの基準デザインは偏極ガンマ線の生成方法としてヘリカルアンジュレーター方式を採用している。この方式では150GeVの電子ビームが150m以上の長さのヘリカルアンジュレーターを通過し、ガンマ線を生成する。しかしながら150mのアンジュレーターはまだ開発中であり、しかも150GeVの電子ビームが供給されるにはILCのメインLINACの建設を待たなくてはならない。

偏極陽電子生成のオプションとしてレーザーコンプトン散乱を用いるコンプトン方式がある。コンプトン方式の利点は、10MeVのガンマ線を生成する為に要求される電子ビームのエネルギーが1GeVと、既存の電子加速器施設で陽電子源の開発を行えるほど低いということである。さらに、コンプトン方式

では生成されるガンマ線の偏極をレーザーの偏光を変化させることによって簡単にコントロールすることができる。このため、コンプトン方式はアンジュレーター方式と平行して開発が行われている。本文ではKEK-ATFで行っているコンプトン方式によるガンマ線生成の研究開発の状況を報告する。

コンプトン方式による偏極ガンマ線生成の原理検証はATFでの実験によって既に実証されている^[1]。陽電子源のための次のステップとしてILCの要求を満たすべくガンマ線の強度を上げる必要がある。そのため、我々は光蓄積共振器でレーザーパルスの強度を増大させる方法を採用した。我々はファブリ・ペロー型の光蓄積共振器をATFダンピングリングに設置し、レーザーコンプトン散乱によるガンマ線生成実験を行った。ATF全体図と光蓄積共振器の設置場所を図1に示す。

2. 実験のセットアップ

本実験を行っているATF加速器の電子ビームはエネルギーが1.3GeV、サイズは100mm(H)×10mm(V)である。使用しているモードロックレーザーの繰り返し周波数は357MHzで、これはATFの電子バンチ

¹ E-mail: akagi@hep.adsm.hiroshima-u.ac.jp

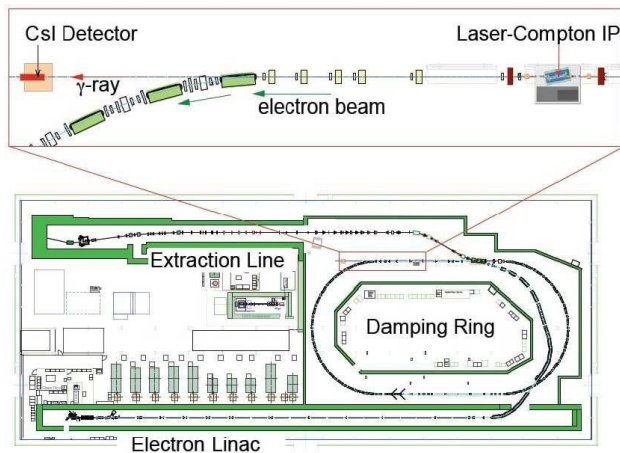


図1:ATFの全体図と光蓄積共振器の設置場所^[2]

間隔と等しい。レーザー光の波長は1064nm、パルス長は1σで5psである。また、出射時のレーザー強度は10Wで1パルスあたり28nJである。

光蓄積共振器は反射率99.6%、曲率半径210.5mmの2枚のミラーから成る。この光蓄積共振器で、入射光強度を約250倍に増大させ、共振器の中心でのレーザーサイズを1σで30μmまで絞ることができる。光蓄積共振器の写真を図2に示す。

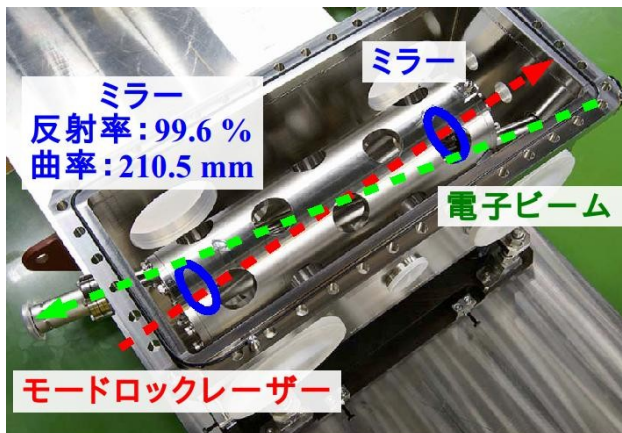


図2:光蓄積共振器

レーザーパルスと電子ビームの衝突角は12度で、これによりレーザーコンプトン散乱で生成されるガンマ線の最大エネルギーが28MeVに決定される。CsI検出器で検出される光子のエネルギーは、衝突点と検出器の間にあるスリットによって19MeVから28MeV、平均24MeVとなる。

レーザーコンプトン散乱により、効率良くガンマ線を生成する為には光蓄積共振器の共鳴維持、レーザーパルスと電子ビームバンチのタイミング同期の2つの条件を同時に満たす必要がある。それらの制御については"KEK-ATFにおけるILC偏極陽電子源の為の光蓄積共振器を用いた高輝度ガンマ線生成実験I"で述べられている。

3. 実験

我々は1、5、10、15、20バンチ/トレインの電子とモードロックレーザーの衝突実験を行いガンマ線を検出した。実験ではまず始めに光蓄積共振器を設置している位置可変架台によって、台ごと動かし、最もガンマ線を検出する最適な位置を探した。位置可変架台によって共振器は垂直方向、水平方向それぞれに0.8μmの精度で動かすことができる。

それから、レーザーパルスの電子バンチに対するタイミングをATFのマスターオシレーターとレーザーパルスの位相差を変化させることによって調整し同期させた。

図3にレーザーと電子ビームの衝突点から18m後方にあるCsI検出器で検出されたガンマ線のエネルギー分布を示す。20バンチとの衝突において、1回の衝突あたり28.1±0.1個のガンマ線を検出した。全立体角では60個生成されている。なお、ガンマ線1個の平均エネルギーは24MeVである。ATF加速器の電子バンチは2.16MHzで周回しているの、1秒あたり約10⁸個のガンマ線が生成されていることに相当する。

各バンチ数での実験結果については表1にまとめ

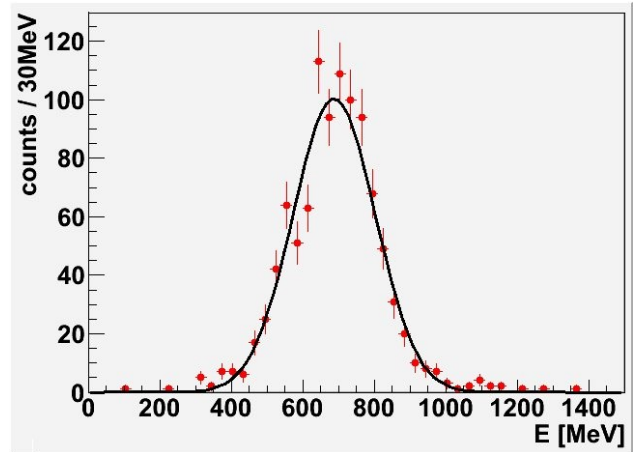


図3:20バンチとの衝突においてCsI検出器で検出されたガンマ線のエネルギー分布

た。シミュレーションによる期待値はCAIN^[3]を用いて計算した。ただしシミュレーションの値は、実験中の加速器の状況によって電子のバンチ長が6.0mmから9.0mmの値をとるため誤差が生じる。実験により検出されたガンマ線は1トレインあたりのバンチ数が少ないときにはシミュレーションの値と一致するが、バンチ数が多くなるとずれが大きくなる傾向がある。この様子を図4に示す。1トレインあたりのバンチ数が多いときにずれが生じる理由について、我々は電子バンチのシンクロトロン振動の効果による実効的な電子バンチ長の増大が原因の1つではないかと考えている。電子バンチの振動についてはストリークカメラを用いて調査し、実際にバンチ数が多い時に振動を含む実効的なバンチ長の増大が観測された。ストリークカメラで観測した電子バ

表1: 実験結果まとめ。ガンマ、レーザー蓄積強度にはそれぞれ3%、14%の共通な系統誤差がある。

バンチ数	カレント [mA]	レーザー蓄積強度 [W]	ガンマ [1/train]	シミュレーション	規格化した値 [ガンマ/A・W]
1	2.2	437±2	5.4±0.3	4.9±0.3	5.6±0.3
5	4.7	423±2	10.6±0.1	10.5±0.5	5.3±0.1
10	8.5	470±2	19.0±0.1	21±1	4.8±0.1
15	11	498±2	26.0±0.1	29±1	4.8±0.1
20	18.5	492±2	28.1±0.1	47±2	3.1±0.1

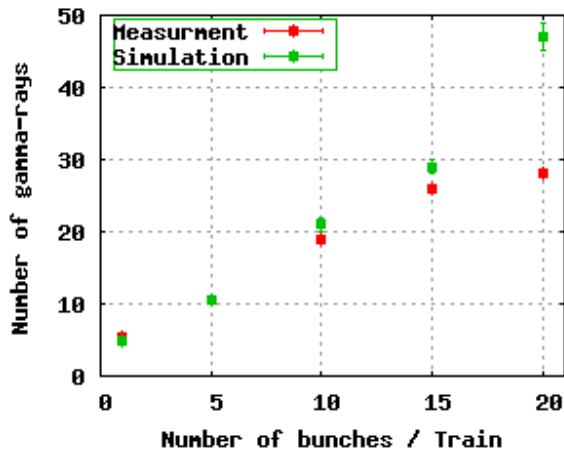


図4: 1トレインあたりのバンチ数が大きくなるとシミュレーションとのずれが大きくなる

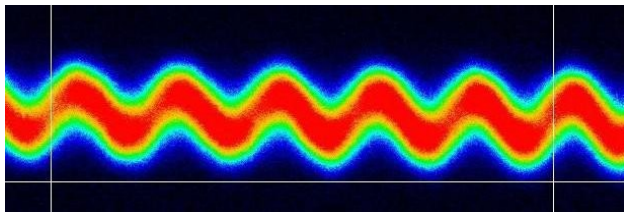


図5: ストリークカメラで観測した電子バンチのシンクロトロン振動

ンチのシンクロトロン振動の様子を図5に示す。しかしながら、シンクロトロン振動は加速器の状況により振動の強弱が大きく変化するため、詳しい比較についてはまだ調査中である。

4. まとめ

偏極陽電子源の開発の一環として、レーザーコンプトン散乱による偏極ガンマ線生成実験を KEK-ATFで行っている。高輝度のガンマ線を得るため、光蓄積共振器にモードロックレーザー光を蓄積し、レーザー強度を約250倍に増大した。また、制御システムを構築し、光蓄積共振器の共鳴状態の維持、及びレーザーパルスと電子ビームバンチのタイミング同期を同時に達成した。レーザーコンプトン散乱により生成されたガンマ線は1トレインあたり 28.1 ± 0.1 個、1秒あたり 10^8 個相当である。この結果はレーザーコンプトン散乱による効率的なガンマ線

生成の可能性を示している。検出されたガンマ線の数にはほぼ予測通りの値だが、1トレインあたりの電子バンチ数が多いときにずれが大きい。電子バンチのシンクロトロン振動による実効的な電子バンチ長の増大が原因の1つと考えられているが、さらなる調査が必要である。

射辞

この研究は科研費[(B)18340076,17GS0210]、JST量子ビーム技術プログラム、KEK大学等連携支援事業、広島大学 晝馬研究基金の支援を受けています。この場を借りて、感謝の意を表します。

参考文献

- [1] T. Omori et al., Physics Reports, 460(2008) 131
- [2] H. Shimizu et al., J.Phys. Soc. Jpn. 78(2009)074501
- [3] K. Yokoya, <http://lcdev.kek.jp/yokoya/CAIN/cain235/>