

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 7 日現在

機関番号：87202
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2010～2011
課題番号：23760071
研究課題名（和文） 逆コンプトンガンマ線計測による電子蓄積リングの運動量 アクセプタンス評価
研究課題名（英文） Momentum acceptance study of an electron storage ring by observing laser Compton scattering gamma-rays and single-electron loss events
研究代表者 金安 達夫（KANEYASU TATSUO） 九州シンクロトロン光研究センター・加速器グループ・副主任研究員 研究者番号：90413997

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は電子蓄積リングの運動量アクセプタンスの実験的評価手法の開発を目的としている。九州シンクロトロン光研究センターの光源用電子蓄積リングに逆コンプトン散乱ガンマ線の生成システムと電子損失モニターからなる実験系を構築し、要素技術の開発に取り組んだ。波長 1064 nm のレーザー光と 1.4 GeV 電子ビームの正面衝突により最大エネルギー 34 MeV のガンマ線生成に成功した。単一電子の損失イベントの観測を目的に、光電子増倍管を用いた放射光強度モニターを開発した。

## 研究成果の概要（英文）：

We have developed a measurement system for studying the momentum acceptance of an electron storage ring. The system consists of a fiber laser for Compton scattering gamma-ray generation and a single-electron loss monitor. Correlation analysis between the gamma-ray energy and single-electron loss events allows experimental determination of the momentum acceptance. The measurement system was installed in the 1.4 GeV storage ring of the SAGA Light Source facility. The laser Compton gamma-rays having maximum energy of 34 MeV were generated by colliding the 1064 nm wavelength photons with the 1.4 GeV electron beam. The electron loss monitor equipped with a photomultiplier tube for observing the visible synchrotron radiation was installed in the beam diagnostic beam line

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：加速器

## 1. 研究開始当初の背景

電子蓄積リングを周回する電子は様々な要因によって安定軌道を外れて徐々に失われる。近年の高輝度光生成を目的とした低エミッタンス電子蓄積リングでは、ビーム寿命は主にタウシェック効果によって制限されている。タウシェック効果は電子バンチ内の

電子・電子散乱により蓄積電子の運動量が変化し、運動量変化が蓄積リングの諸条件で決まる閾値(運動量アクセプタンス)を超えた場合に電子が失われる現象である。タウシェック寿命は運動量アクセプタンスに強く依存するため、ビーム寿命の制限要因の理解やその改善へ向けて、運動量アクセプタンスに関

する実験的および理論的研究は数多く行われてきた。

これまで多くの実験的研究では、蓄積リングの運転条件の変化に対するビーム寿命の振る舞いを解析することで運動量アクセプタンスの評価を試みていた。しかしながら動力的口径による制限など、単純な取り扱いが困難な効果も寄与するため、測定値と蓄積リングの設計値の差異を理解するためには、ビーム損失機構の精密なシミュレーションや実験的検証等の多大な労力が必要であった。また測定も多くは蓄積リング全体の平均値としての運動量アクセプタンス評価にとどまっており、局所的なアクセプタンス測定に基づいてその制限要因を精密調査した例はなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では九州シンクロトロン光研究センターSAGA Light Source (SAGA-LS)の1.4 GeV電子蓄積リングを用いて運動量アクセプタンスの直接評価法の開発研究に取り組む。逆コンプトンガンマ線計測と電子損失モニターを組み合わせて、電子蓄積リングの運動量アクセプタンスを単一電子の運動量変化とそれによる電子損失の有無、としてシンプルかつ直接的に評価する手法の開発を目的とする。さらに測定結果を用いて、SAGA-LS電子蓄積リングのタウシェック寿命の評価や運動量アクセプタンスに対する動力的口径の影響の検証を目指す。

## 3. 研究の方法

SAGA-LS電子蓄積リング及び既設のレーザー輸送経路を用いて研究を遂行した。本研究では、電子の運動量変化とその結果生ずる蓄積リングからの電子損失の有無を観測する。蓄積電子へ運動量変化を与える方法はレーザー光との衝突による逆コンプトン散乱である。コンプトン散乱による電子の運動量変動には波長1064 nm、平均出力30 Wのファイバーレーザーを使用する。1.4 GeV電子ビームとの衝突により散乱光子はMeV領域のガンマ線として前方へ放出される。一方、散乱イベント毎の電子損失の有無は単一電子損失を弁別可能な放射光強度モニターで判別する。ガンマ線光子のエネルギーと単一電子損失の相関調査により、蓄積リングの運動量アクセプタンスは直接的に評価可能である。また逆コンプトン散乱のイベントレートはレーザーの集光位置近辺で最大となる。よってレーザーの集光位置を調整すれば局所的な運動量アクセプタンスについても情報が得られると期待される。

## 4. 研究成果

運動量アクセプタンスの評価実験に必要な要素技術の開発に取り組んだ。具体的には、逆コンプトンガンマ線の生成と電子損失モニターの開発である。項目別に研究成果をまとめる。本研究では運動量アクセプタンスの評価までにはいたらなかったが、今後は実験要素技術を改善しながら、継続して研究を行う。また本研究で開発した技術は、運動量アクセプタンス以外にも電子蓄積リングの各種特性評価への応用が期待される。応用例と今後の展望についてもまとめる。

### (1) 逆コンプトンガンマ線の生成

SAGA-LS電子蓄積リングに既設のレーザー輸送光学系を活用し、ファイバーレーザーによるガンマ線生成に取り組んだ。電子ビームエネルギー1.4 GeVでは最大エネルギー34 MeVの逆コンプトン散乱ガンマ線が生成される。シンチレーション検出器を用いてガンマ線のエネルギースペクトル測定を行い、逆コンプトン散乱由来のガンマ線生成を確認した。得られたエネルギースペクトルは検出器の応答を考慮したシミュレーション結果と整合しており、ガンマ線の発生効率の評価手法を確立することが出来た。

図1にNaIシンチレーション検出器によるガンマ線スペクトルの測定例を示す。レーザーONにより、30 MeVを超える領域までガンマ線の強度が増大していることがわかる。また、集光光学系を用いて電子ビームとの相互作用領域へレーザー光を集光し、ガンマ線生成量が最大となる条件を探った。集光光学系の採用によりガンマ線の生成率は向上したものの、電子損失を観測するためには電子ビームとの重なりや集光位置の更なる調整が必要である。

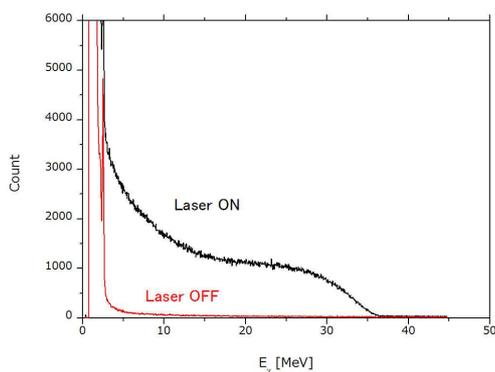


図1：ファイバーレーザーを用いた逆コンプトン散乱ガンマ線の生成。ビームエネルギーは1.4 GeV、ビーム電流は2 mA。

## (2) 電子損失モニター

電子損失モニターを SAGA-LS 加速器診断ビームライン BL20 の暗室内に構築した。本システムでは可視放射光を高感度検出器を用いて検出し、単一電子の損失に由来する強度変化を判別する。

当初はアバランシェ型フォトダイオードを検出器に採用したが、性能評価試験の結果、単一電子損失の観測は困難とわかった。そこでより高感度の検出器として光電子増倍管を採用した。さらに光子計数による統計精度の向上、単バンチ蓄積を利用した計測系への時間ゲート処理による SN 改善、さらに放射光輸送経路の改良による光強度増強を行い、極小蓄積電子数(〜10 個)の実験条件で段階的な放射光強度の変化が観測された。この結果は単一電子の損失イベントに対応すると考えられるが、測定結果を確かなものとするにはより長時間の測定が必要とわかった。

高感度検出器を活用した電子損失モニターの開発により、電子蓄積リングのビーム強度の計測範囲が、通常の電流モニターを用いた領域(mA)から極小蓄積電子数まで拡大したといえる。幅広い範囲におけるビーム強度測定は、電子蓄積リングの様々なビーム特性の理解へ向けた実験研究の道具としても有用であり、今後は電子損失モニターを利用した研究を発展させる予定である。

## (3) 応用

本研究で開発したファイバーレーザーによる逆コンプトンガンマ線生成は、蓄積リングのビームエネルギー測定にも利用できることがわかった。これまで波長 10.6  $\mu\text{m}$  の炭酸ガスレーザーによる逆コンプトン散乱ガンマ線を用いて電子ビームのエネルギー測定を行っていたが、500 MeV 以下の電子ビームエネルギーではガンマ線エネルギーが低く、ミラーやフランジに対するガンマ線の透過率が低減するため検出が困難であった。炭酸ガスレーザーに比べ波長の短いファイバーレーザーであれば、500 MeV 以下であっても逆コンプトンガンマ線のエネルギーは十分に高く、蓄積リングの全エネルギー領域(0.25~1.4 GeV)においてビームエネルギー測定が可能となる。図 2 に逆コンプトン散乱を用いたビームエネルギー測定の試験的な測定結果を示す。500 MeV 以下はファイバーレーザーによる測定結果である。逆コンプトン散乱による電子ビームのエネルギー測定は、蓄積リング偏向電磁石の磁場データとの比較検討の観点から興味深く、ファイバーレーザーの更なる利用方法として今後も活用が期待される。

少数電子蓄積における電子数モニターとビームスクレーパによる蓄積リングの口径制限を組み合わせれば、蓄積リングの真空状

態(残留ガス種や圧力の詳細)に関する実験研究や直線部におけるビームサイズの測定などへも利用できることがわかった。既に予備的な成果も得ており、今後も本研究で開発したモニターシステムを用いて実験研究を継続する。

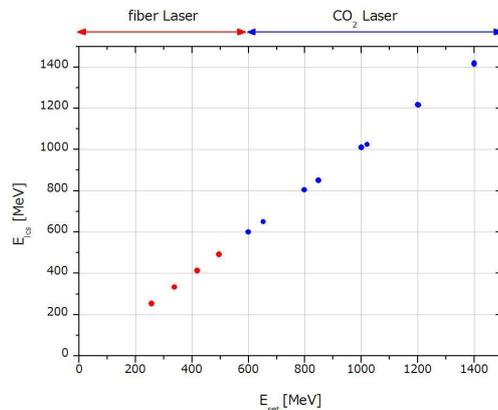


図 2: 逆コンプトン散乱ガンマ線計測によるビームエネルギー測定の結果。ビームエネルギー500 MeV 以下はファイバーレーザーによる測定。

## 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 T. Kaneyasu, Y. Takabayashi, Y. Iwasaki, S. Koda, Performance of the Laser Compton Scattering Gamma-Ray Source at SAGA-LS, Journal of Physics: Conference Series, 査読有 vo. 425, 2013, 042018-1~4 doi:10.1088/1742-6596/425/4/042018

[学会発表] (計 4 件)

- ① 金安達夫, 高林雄一, 岩崎能尊, 江田茂, SAGA-LS レーザコンプトンガンマ線源の連続運転試験, 第 9 回日本加速器学会年会, 2012 年 8 月 9 日, 大阪大学(大阪府)
- ② T. Kaneyasu, Y. Takabayashi, Y. Iwasaki, S. Koda, Performance of the Laser Compton Scattering Gamma-ray Source at SAGA-LS, The 11th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, 2012 年 7 月 11 日, Lyon Convention Centre, France
- ③ 金安達夫, SAGA-LS におけるレーザーコンプトン散乱ガンマ線の発生, 第 18 回 FEL と High Power Radiation 研究会, 2011 年 12 月 5 日, 岡崎コンファレンスセンター(愛知県)

④ T. Kaneyasu, Y. Takabayashi, Y. Iwasaki,  
S. Koda, High-flux Gamma-ray Generation by  
Laser Compton Scattering in the SAGA-LS  
Storage Ring, The 2nd International  
Particle Accelerator Conference, 2011 年  
9月6日, San Sebastian, Spain

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金安 達夫 (KANEYASU TATSUO)

九州シンクロトロン光研究センター・加速器  
グループ・副主任研究員

研究者番号：90413997

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：