

PRESENT STATUS OF ACCELERATOR AT SAGA LIGHT SOURCE

Shigeru Koda[#], Yoshitaka Iwasaki, Yuichi Takabayashi, Tatsuo Kaneyasu
SAGA Light Source
8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

Abstract

A 1.4 GeV electron storage ring and a 255 MeV injection linac have been stably operated in FY 2011 at a synchrotron radiation facility SAGA-LS. Six bending magnets and three insertion devices of an APPLE-II, a planar undulators and a hybrid superconducting three pole wiggler have been operated as light sources for user operation. The beam abortion rate in user operation was about 4.8%, which was determined mainly a water leak accident at a circulator of the storage ring RF system. The hybrid superconducting wiggler has been operated stably from official operation start in November, 2010. The spectral range of SAGA-LS was expanded up to about 40 keV by the wiggler. The wiggler abortion rate for the beam line BL7 was attained to be less than 1 %. A laser Compton scattering experiment using a CO₂ laser has been investigated. Study of concurrent usage of the gamma ray with user operation of synchrotron radiation was examined. A linac trigger system, which synchronizes with the storage ring, has been developed. The design study of the full energy booster for the storage ring is in progress.

放射光施設 SAGA-LS における光源加速器の状況

1. はじめに

放射光施設九州シンクロトロン光研究センター (SAGA-LS) は 2006 年の開所以来、約 7 年が経過した。この間、県有及び外部機関ビームライン (BL) の建設、実験ホール拡張、研究室増設等が進められてきた。現在 BL は佐賀県 6 本、他機関 3 本が運用中である。SAGA-LS 加速器グループではユーザー運転を行いつつ、既設加速器系の更なる安定化、性能向上及び挿入光源等の開発研究を継続的に進めている。本報告では 2011 年度および 2012 年度現在までの加速器の状況を報告する。

2. 光源加速器

2.1 概要

加速器は周長 75.6m の 1.4GeV 電子蓄積リングと

蓄積リングの状況を図 1 に示す。蓄積リングは 1 セル偏向電磁石 2 台から成る 8 回対称のラティスである。ユーザー利用の放射光光源としては、偏向電磁石が 6 ポート、挿入光源として APPLE-II [1] 型可変偏光アンジュレータ LS3U、プラナーアンジュレータ LS4U (佐賀大) 及びハイブリッド 3 極型超伝導ウィグラー LS2W [2-4] が運用されている。現在の SAGA-LS 全光源の放射光スペクトル及び各ビームラインの光子エネルギー利用範囲を図 2 に示す。BL は 9 本あり現在すべて建設が完了し定常的に利用されている。中型蓄積リングとしては、提供できる光子のスペクトル範囲は広く、図 2 からわかるように現状の利用範囲は数十 eV から 40keV 近くに及ぶ。

2.2 運転状況

運転は、月曜マシンスタディ、火曜～金曜ユーザー運転、土日停止のサイクルで行われている。入



図 1 蓄積リングの現状。超伝導ウィグラービームライン BL7 基幹部より第 3 セル周辺を撮影。入射用 255MeV リニアックから構成される。現在の 射は 1 日 1 回行われ、ユーザー利用開始時の蓄積電

[#] koda@saga-ls.jp

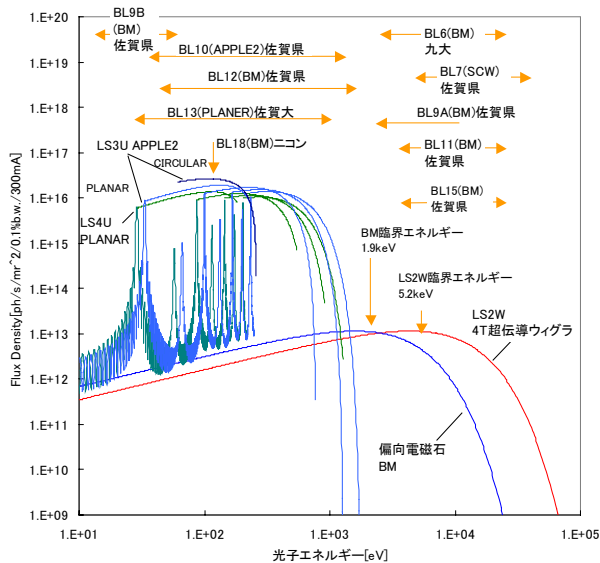


図 2 SAGA-LS 光源スペクトル

流は 300mA、ユーザー運転時間は 10.5 時間/日である。2011 年度の加速器のユーザー運転時間は 1543.5 時間であった。2008 年に実験ホール拡張工事のため運転時間が 1040 時間であったことを除けば 2006 年開所以来、例年 1500 時間前後で推移している。

2010 年度の加速器の故障としては、2011 年 3 月の蓄積リング 500MHz RF 系の漏水が最も大きなトラブルとなった。ユーザー運転日にして 7 日間放射光利用が中止となった。当初、蓄積リング RF 系クライストロン(E3774)が特定の出力パワーで RF 反射が発生したことから E3774 内部の放電が疑われた。しかしその後 RF 反射発生の条件が変化、さらに RF 系冷却水設備のリザーバタンク水位の若干の低下、500MHz サーキュレータ本体からの少量の漏水が発見されたことから、E3774、サーキュレータ周辺の 500MHz 導波管を分解調査したところ、漏水が判明した(図 3 参照)。サーキュレータ中央部冷却配管のロウ付け部分のピンホールから漏水し、導波管で接続された RF 系全域に渡り漏水及び結露が発生していた。サーキュレータ修理、クライストロン窓の乾燥、導波管、ダミーロードの分解乾燥を行い、再組み立て後 RF 系単体パワー試験、長時間ビーム蓄積試験を経て復旧した。2006 年開所以降のユーザー運転におけるビームアポート率を図 4 に示す。

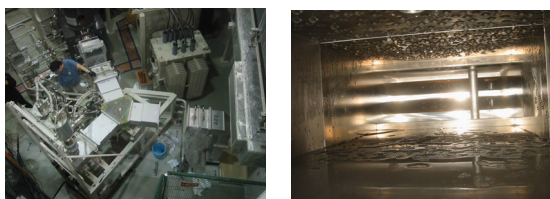


図 3 分解中の蓄積リング RF 系(左)。中央部が漏水を起こしたサーキュレータ。500MHz 導波管内の漏水及び結露の状況(右)。

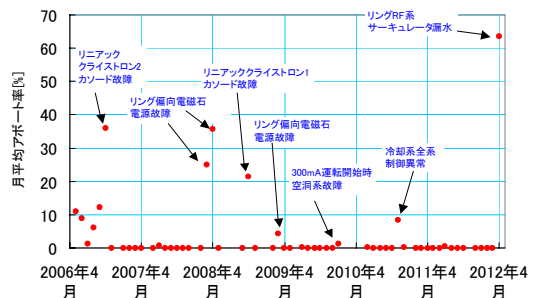
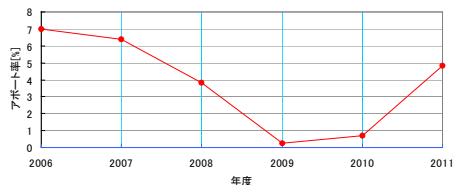


図 4 開所以降のユーザー運転中の年間(上)及び月間(下)のビームアポート率の推移。ビームアポート率はユーザー運転実施時間に対する加速器トラブルによるユーザー運転中断時間の比として定義。

2011 年度はこの漏水トラブル以外にほとんどトラブルはなく年間のアボートはこの漏水によって決まった(図 4 下参照)。

3. 開発研究

3.1 ハイブリッド型 3 極超伝導ウィグラー

超伝導ウィグラー LS2W[2-4]は、磁場 4T(臨界エネルギー 5.2keV)で中小放射光施設では利用困難であった 20~40keV 領域のハード X 線をユーザーに安定に提供することを目的に開発された。液体ヘリウムを使用しない伝導冷却方式で、メインポールのみ超伝導としサイドポールは常伝導というハイブリッド構成を採用した。発生する放射光スペクトルは物質科学、材料開発等で重要な中重元素の K 端をカバーしている。また LS2W はハイブリッド構成及び比較的低い磁場強度を採用したことで、エミッタンスやビーム負荷の増大といったビームへの影響が抑えられ[5]、既設の他 BL に対し LS2W 設置以前と同等の放射光クオリティを維持している。2010 年 11 月より正式に BL7 にウィグラー光の提供を開始し、以来現在までユーザー運転日には、一日 1 回 15 分で励磁を行い、後述のクエンチトラブルを除いた全てのユーザー運転で運用されてきた。ユーザー運用開始後、2012 年 6 月末現在までの LS2W のユーザー運用時間は約 2500 時間に達した。この間のトラブルは制御系トラブル 10 分、2 回のクエンチ 21 時間のみで、BL7 において LS2W が原因となったアボート率は約 0.8%である。LS2W は当初の構想通り機能し、安定運用の実績を積み続けている。またクエンチ発生時にはウィグラーの磁極冷却を待ちつつ、これと平行してビームの入射加速を行い、他の BL には通常通り放射光を提供している[3]。

3.2 レーザーコンプトン γ 線発生実験

蓄積リング長直線部 LS8 において、CO₂ レーザーによるレーザーコンプトン(LCS)実験を進めてきた[5,6]。レーザー波長 10.6 μ m、ビームエネルギー 1.4GeV で 3.5MeV の γ 線を生成する。2009 年に低蓄積電流において 3.5MeV の γ 線の観測に成功して以来、生成ガンマ線の特性測定、蓄積リングパラメータ測定への応用[7]等を進めてきた。ガンマ線強度は蓄積電流 300mA、レーザー出力 10W に対し 10⁷ γ /sec 程度である。CO₂ レーザーに注目したのは、反跳エネルギーがバケットを超えないため、ビームロスが発生せず、ユーザー運転に影響することなく γ 線生成実験が可能なる点にある。これは γ 線の実用的な応用の上でメリットが大きい。これまで蓄積リング室内に設置していたレーザー光学系を 2012 年に蓄積リング遮蔽壁外に移動し、長時間実験のための実用性を高めた。またユーザー運転と同じ条件で LCS γ 線長時間発生実験を行った(図 5 参照)。煩雑な光学系調整は不要で継続的にガンマ線生成が可能であった。2012 年 6 月には実際のユーザー運転において LCS γ 線生成実験を行い、放射光ユーザーに影響を与えることなく、LSC γ 線の照射能力を調査するスタディを行った。2012 年度中に蓄積リング遮蔽壁に隣接して γ 線照射エリアを整備する計画でハード整備、変更申請手続きの準備を進めている。

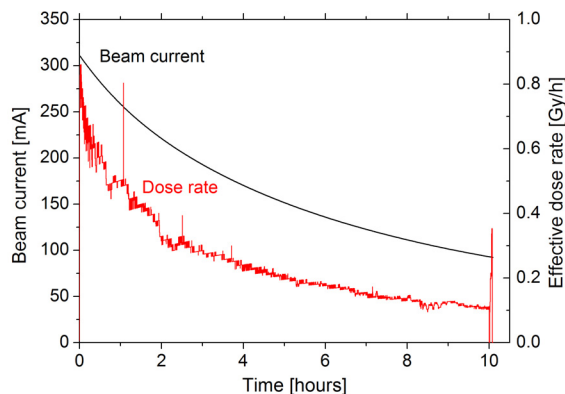


図 5 初期蓄積電流 300mA の通常のユーザー運転と同じ条件で行った LCS γ 線生成実験。10 時間にわたりほぼ蓄積電流に比例した γ 線強度を得ている。

3.3 その他

入射用リニアックでは、ビームロスの少ないかつバンチ単位の多様なバンチフィリング制御を目的に、これまで蓄積リング RF 系と独立であったリニアック入射タイミング系の同期化を進めている。完全同期化に向けて段階的にスタディを進めており、これまでに蓄積リング RF 系(500MHz)、電子銃グリッドパルサー系及びクライストロンモジュレータ(商用 60Hz)との同期試験に成功した。

蓄積リング、BL の熱的安定性の向上及び放射光の積分フラックス増強を目的にフルエネルギー入射用ブースターシンクロトロンの開発可能性について

検討している[8]。開発コスト及び建設に伴う運転停止期間についての制約が非常に厳しく、安価かつ短い工期がデザイン上の最大の課題になっている。入射器は現状のリニアックの初段部をそのまま利用、ブースターの電磁石は蓄積リング併設タイプで、蓄積リング室通路床面に設置し、その上に通路を設ける可能性を検討している。ラティスについては FODO をベースにファミリー数を極力抑えた低コストのものを検討中である。ブースターから蓄積リングへの入射にはパルス 4 極による入射を検討し原理的には可能であることがわかった。また既設の低エネルギー入射系を残すことで運用上の冗長性を持つことを考えている。

4. まとめ

SAGA-LS 加速器は定常的な運転サイクルに則ってユーザー運転を行っている。挿入光源として新たに加わったハイブリッド型超伝導ウィグラーは、これまで SAGA-LS では困難であった 20~40keV 領域のハード X 線の提供を可能とし、かつ高い運用安定性を実現している。加速器運転維持と平行してレーザーコンプトンによる γ 線生成実験、リニアックの同期入射系開発、フルエネルギー入射用ブースター実現可能性の検討を進めている。

参考文献

- [1] S. Sasaki, "Analyses for a planar variably-polarizing undulator", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A347, 83-86, 1994
- [2] S. Koda, *et al.*, "Design of a Superconducting Wiggler for the Saga Light Source Storage Ring", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21, 32 (2011).
- [3] 江田他,"放射光施設 SAGA-LS における超電導-常電導複合型 3 極ウィグラーの開発と運用", 低温工学, 47, 232 (2012).
- [4] S. Koda, *et al.*, "Effects of a hybrid superconducting three-pole wiggler on the stored beam at the SAGA-LS storage ring", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 682, 1 (2012).
- [5] T. Kaneyasu, *et al.*, "Generation of laser Compton gamma-rays in the SAGA light source storage ring", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 659, 30 (2011).
- [6] T. Kaneyasu, *et al.*, "High-flux Gamma-ray Generation by Laser Compton Scattering in the SAGA-LS Storage Ring", Proceedings of IPAC2011, San Sebastian, Spain, 1476 (2011).
- [7] 金安他, "SAGA-LS におけるレーザーコンプトンガンマ線の生成試験とモーメントムコンパクションファクター評価への応用", 第 24 回放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム予稿集、つくば、77 (2011).
- [8] 江田他, "SAGA-LS におけるフルエネルギー入射用ブースターシンクロトロン検討の現状", 第 25 回日本放射光学会予稿集、鳥栖、72 (2012).