

SAGA-LS ACCELERATOR STATUS

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 FY2010 at a synchrotron radiation facility SAGA-LS. The beam abort rate in user operation has been maintained to be order of 10^{-3} from FY 2009. Six bending magnets and two undulators of APPLE-II and planar types have been operated as light sources. In addition, a hybrid superconducting wiggler joined as a new insertion device. The spectral range of the synchrotron radiation was expanded up to 40 keV by the wiggler. Operation of the wiggler beam line BL7 was started in November 2010. A laser Compton scattering experiment using a CO₂ laser has been carried out. The measurement of the gamma ray quality and improvement of the gamma ray flux are in progress.

放射光施設 SAGA-LS における加速器の現状

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 5 年が経過した。SAGA-LS では建屋拡張による実験ホールの拡大とこれと連動した新規ビームラインの増設、立ち上げが進められてきた。図 1 に実験ホールの現状を示す。開所時に計画された全てのビームラインの立ち上げが現在終了し他機関専有ラインも含め 9 本が運用中である。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、性能向上及び開発研究を継続的に進めている。本報告では 2010 年度および 2011 年 7 月現在までの加速器の状況及び加速器に関わる R&D について報告する。

2. 光源加速器

加速器は 1.4GeV 電子蓄積リングと入射用 255MeV リニアックから成る。加速器は定常的な運転サイクルに則ってユーザーに放射光を提供している。

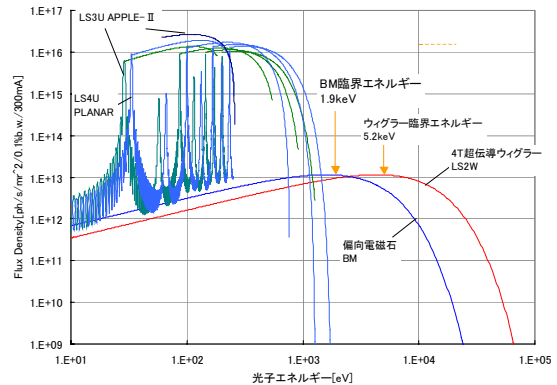


図 2: 光源スペクトル

る。現在の SAGA-LS 全光源の放射光スペクトルを図 2 に示す。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) 及び後述のハイブリッド 3 極型超伝導ウィグ

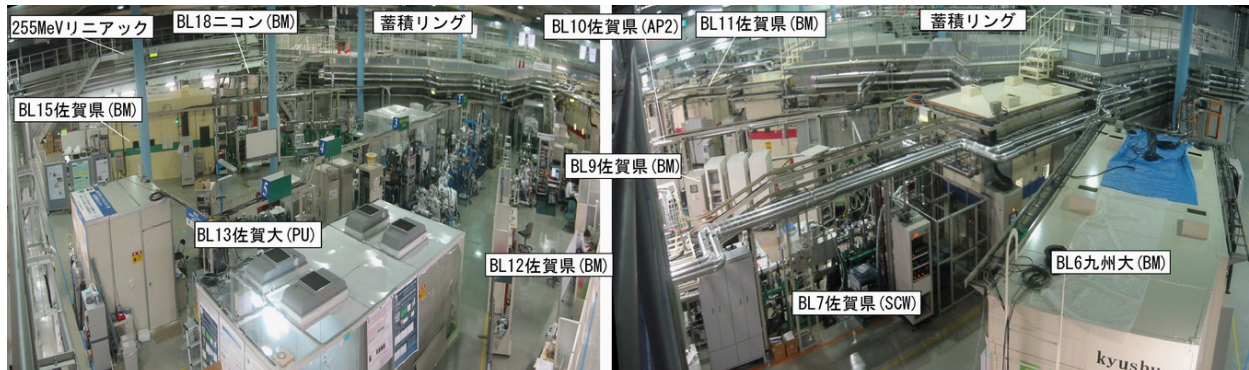


図 1: 実験ホール現状。実験ホール南東角(左)、北東角(右)から撮影。図中 BM, PU, AP2, SCW は光源を意味し、それぞれ偏向電磁石、プラナーアンジュレータ、APPLE-II、超伝導ウィグラーに対応する。

[#] koda@saga-ls.jp

ラーLS2W が運用されている。LS2W は 2009 年度末設置、LS4U はこれまで使用されていた分子研 UVSOR 旧 BL3U アンジュレータが新規製作プラナーアンジュレータに更新された。

3. ビームライン

放射光ビームラインは現在、県有 6 本、他機関ビームライン 3 本（九州大 1、佐賀大 1、ニコン 1）が運用中である。ビームラインの内わけを表 1 に示す。APPLE-II ラインである BL10 では 2009 年度より PEEM、ARPES の実験が開始され、また高次光を用いて光子エネルギー 1keV 領域まで利用が広がっている。BL7 は超伝導ウィグラーLS2W 用ラインであり、立ち上げが終了し、2010 年 11 月以来ユーザー利用が行われている。このラインは LS2W の特質を生かし SAGA-LS ではこれまで困難だった光子エネルギー 20~40keV 領域の利用が進んでいる。

表 1: ビームライン内わけ

BL	Source	Photon Energy	Method	Organization
BL06	Bending Magnet	3-23 keV	XAFS,SAXS	Kyushu Univ.
BL07	SCW ¹⁾	4.2-37 keV	XRD,XAFS	Saga Pref.
BL09A	Bending Magnet	White(>3 keV)	LIGA	Saga Pref.
BL09B	Bending Magnet	10-50 eV	Photo Excitation	Saga Pref.
BL10	Undulator (APPLE-II)	30-1200 eV	PEEM, ARUPS	Saga Pref.
BL11	Bending Magnet	3-23 keV	XAFS, SAXS	Saga Pref.
BL12	Bending Magnet	40-1500 eV	XPS, XAFS	Saga Pref.
BL13	Undulator (planar)	15-600 eV	ARPES	Saga Univ.
BL15	Bending Magnet	3-23 keV	XAFS, XRD Imaging	Saga Pref.
BL18	Bending Magnet	~92 eV	Irradiation Multilayer Refraction	Nikon Corp.

¹⁾ Superconducting Wiggler

4. 開発研究

4.1 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]は磁場強度 4T(臨界エネルギー 5.2keV)で中小放射光施設では利用困難な 20~40keV 領域のハード X 線をユーザーに提供する。本ウィグラーは目的の光源性能を実現することに加え、中小規模の放射光施設における超伝導マグネットの安定運用を特に考慮してデザインされた。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、冷凍機システムの負荷軽減を図った。典型的な 3 極ウィグラーに比べ、メインポールとサイドポールの磁極間距離が離れるため、検討当初磁場の 2 次積分の増大によってビーム軌道変位が無視出来ない程大きくなると見積もられた。そのため、メインポール磁極両端部に大きなフィールドクランプを設け、アンダーシュート磁場を生成し、これにより磁場積分を抑えた。

図 3 に設置状況を示す。2009 年 3 月末に長直線部 LS2 に設置され、単体での定格励磁試験を経て、低蓄積電流でのランプパターン、磁場補償スタディを進めた後、大電流蓄積 (300mA) による熱負荷試験、真空ダクトのウィグラー光による焼きだしを行い、2010 年 11 月より正式にビームライン BL7 にウィグラー光の提供を開始した。この日以来全てのユーザー運転において LS2W は運用されている。

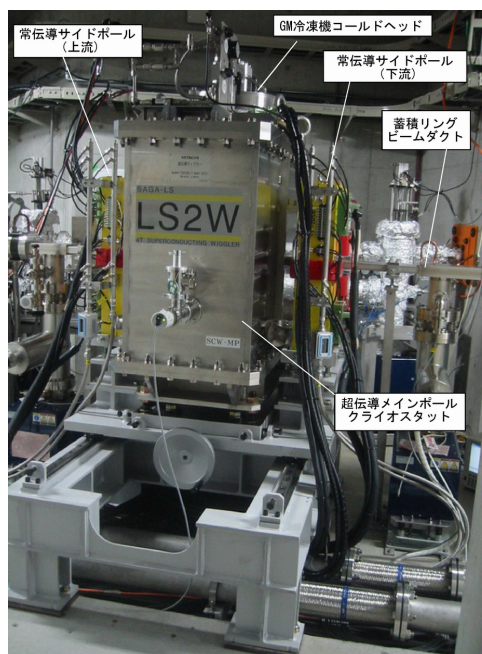


図 3: 蓄積リング長直線部 LS2 におけるハイブリッド 3 極超伝導ウィグラーの設置状況。

ユーザー運転上のトラブルとしてはユーザー運転開始時刻が制御系トラブルで 13 分遅れたのみで、ユーザー利用時間を中断するアボートはこれまで発生していない。

4.2 レーザーコンプトン実験

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)実験を進めている。レーザー波長 10.6 μm、ビームエネルギー 1.4GeV で 3.5MeV のガンマー線を生成する。低蓄積電流において 2009 年 12 月に初めて 3.5MeV のガンマー線の観測に成功し、その後、生成ガンマー線の特性測定、蓄積リングパラメータ測定への応用等を進めている [3]。またガンマー線フラックス増大を進め、現在レーザー出力 10W、蓄積電流 300mA での実験が可能となった。ガンマー線強度は 10⁶ γ/sec のオーダーに達しており、生成条件の更なる最適化を進めている。

4.3 アンジュレータ

アンジュレータ LS3U、LS4U の制御において、蓄積リングの動作点が差共鳴に近く、ダイポールキック補償に加え、ベータートロンカップリングの補償も重要となった。そのためダイポールキック、チューンシフト、スキュー 4 極のフィードフォワード補償を行うシステムを開発した [4]。LS4U はギャップに対して、LS3U はギャップに加え各偏光モードに対してフリーチューニングを実現した。

4.4 リニアック

入射用リニアックでは、これまで蓄積リング RF 系と独立であった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。またリニアックではビームモニター開発のための基礎研究を行っており、2010年9月にパラメトリックX線、2011年2月に電子のチャネリングの観測に成功した。

5. 加速器運転状況

5.1 運転サイクル及び運転実績

図4に加速器の典型的な週及び日単位の運転例を示す。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。入射は1日1回行われ、ユーザー引渡し時蓄積電流は300mA、ユーザー運転時間は10.5時間/日である。加速器オペレーションはウィグラーLS2W設置以前

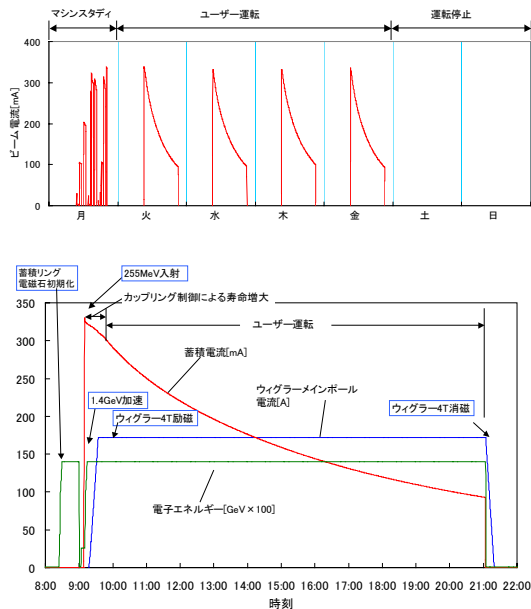


図4: 典型的な1週(上)及び1日(下)の運転。

に比べ、1.4GeV加速後にウィグラー励磁手順が新たに加わった。ウィグラー運用では励磁後2極、4極(スキュー含)、6極の補償が行われる。ウィグラーの励磁、消磁はともに15分で行っている。

2006年開所以来の年間ユーザー運転時間を図5に示す。実験ホール拡張工事による運転期間の制限で2008年は減少したが、例年1500時間前後で推移している。

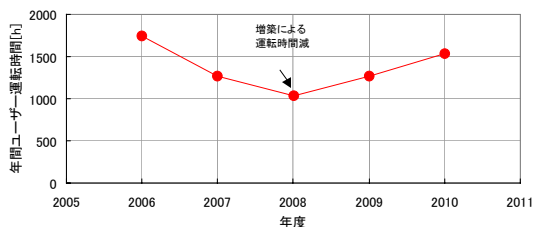


図5: 開所以降のユーザー運転時間。

5.2 ビームアバート

2006年の開所以来のユーザー運転におけるビームアバート率を図6に示す。ここでいうアバート率はユーザー運転実績時間に対するユーザー運転時間中の加速器トラブルによる放射光停止時間の比である。開所から3年間は主にリニアッククライストロン系や蓄積リング電磁石電源トラブルといった重故障が年間のアバート率を決め、 10^{-2} 台であった。2009年度以降重大なトラブルはなく、 10^{-3} 台を維持している。

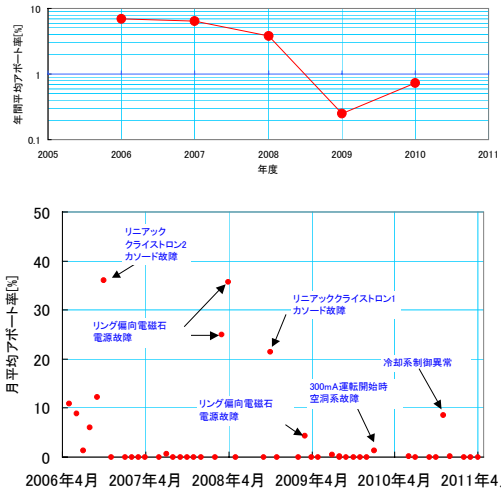


図5: 開所以降の年平均(上)及び月平均アバート率の推移。

6. まとめ

SAGA-LS 加速器は定常サイクルに則って安定にユーザー運転を行っている。ビームアバートは 10^{-3} 台を維持している。挿入光源として新たにハイブリッド型超伝導ウィグラーが加わり、これまでSAGA-LSでは困難であった20-40keV領域のハードX線の利用が可能となった。平行してレーザーコンプトンによるガンマ線生成実験、リニアックビームを用いた研究開発を進めている。

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] 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).
- [4] T. Kaneyasu, et al., "Scheme for correcting coupling variation induced by insertion devices near linear difference resonance", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 641, 5 (2011).