

COMMISSIONING OF SAGA LIGHT SOURCE

Takio Tomimasu^{1,A)}, Sigeru koda^{A)}, Yoshitaka Iwasaki^{A)}, Yuuichi Takabayashi^{A)}, Katsuhide Yoshida^{A)}

Hideaki Ohgaki^{B)}

Hiroyuki Toyokawa^{C)} and Masato Yasumoto^{C)}

^{A)} SAGA Light Source

8-7, Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

^{B)} Institute of Advanced Energy

Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011

^{C)} PRI, AIST, Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568

Abstract

The SAGA Light Source (SAGA-LS) is the first synchrotron light source designed, constructed and operated by Saga Prefecture Government for the promotion of scientific researches and industrial applications in Kyushu area. The SAGA-LS consists of a 250-MeV electron linac injector and a 1.4-GeV storage ring with eight double bend (DB) cell and eight 2.93-m long straight sections. The DB cell structure with a distributed dispersion system was chosen to produce a compact and low cost ring of 75.6-m long circumference. The machine installation began on Sept. 29 2003. The ring magnets of steel laminated structure, vacuum chamber made of aluminium alloy, pumping systems, cooling water systems were installed in March, 2004. The linac, a 499.8-MHz ring rf damping cavity, rf klystrons a beam transport system for injection and their controlled systems were installed in July, 2004. The commissioning began on August 25. The first 250-MeV beam was accelerated on Sept. 29. The beam size is 1-mm in diameter and energy spread is 0.9 % (FWHM). The first synchrotron light of stored beam was observed on November 12. The maximum stored current is 2mA on June 14, 2005. Energy ramping process up to 1.4-GeV was performed in a minute.

佐賀シンクロトロン光源施設の立上げ

1. はじめに

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターの1.4GeVシンクロトロン光源(佐賀LS)では、2004年11月12日に250MeV電子の蓄積に成功した。その後セプトム電磁石のコイルの破損等で修復に時間がかかり今年6月14日現在の蓄積電流は2mAである。蓄積電流が1mA程度でも250MeVから1.4GeVまでランプアップするとリング真空槽の真空圧が 1.8×10^{-8} Paから2桁近く増加する。蓄積電流の増加にともない真空枯らしを行い、光源は3本の県有ビームラインとともに平成17年度中の共用開始を目指している。

光源と建屋の設計は平成11年度から始められ、佐賀LS場合、予算とスペースの制約があり、図1に示すように250MeVリアックによる1.4GeVリングへの低エネルギー入射蓄積・加速方式を採用している[1]。佐賀LSの周長は、既存の1.5GeV級光源であるTLS(台湾)の約2/3にした低コスト設計で、ビームサイズを小さくして光源輝度を高くするように設計されている。

ビームサイズ σ_x は分散 $\eta_x = (\epsilon_x \beta_x)^{1/2} / (\Delta p/p)$ で最少となり、その最小値はほぼ $2^{1/2} \eta_x (\Delta p/p)$ となる。ここで ϵ_x はビームエミッタンス、 β_x はベータ関数、 $\Delta p/p$ は相対的運動量広がりである。

光源の消費電力を夏季でも1200kW、施設全体でも2000kW以下に抑え、光源の運転に必要な光熱水料はガス冷房費も含めて毎時5万円以下である。施設の建設費は、建屋が約11億円、光源装置が19.3億円である。

リングは周長75.6mの8回対称DB(Double Bend)型の電磁石配列であり、長直線部には6台の挿入光源(2.4m \times 5、1.5m \times 1)が設置可能で、超伝導ウイグラーの設置も検討されている[2]。ビームポート数は20である。表1に示すように、ビームエミッタンスは挿入光源なしで、25nm \cdot rad(目標値は15nm \cdot mrad)、7.5Tウイグラーの挿入時には45nm \cdot radに増加する。電子ビームサイズ(σ_x, σ_y)は偏向電磁石4度偏向発光点で水平・垂直それぞれ0.18mm、0.12mm(カップリング10%)、長直線部中央で挿入光源なしで0.58mm、0.13mm、

¹ E-mail:tomimasu@saga-ls.jp

ウイグラー挿入時は0.7mm, 0.26mmに増加する。偏向電磁石($\rho=3.2\text{m}$, $B=1.46\text{T}$, 励磁電流530A)と7.5Tウイグラーからの放射光の臨界エネルギーは、それぞれ1.9keVと9.8keVである。

2. 光源施設の建設

平成15年9月から12月にはリング室、リニアック室、実験ホールの基準点設置、光源装置の温度制御冷却水装置、1.4GeVリングの電磁石と架台の据付、測量、基準点調整を行った。電磁石の架台にはロッド・エンド・ベアリングによる電磁石位置微調整機構が採用されている。

偏向、4極、6極の電磁石はランプアップによる1.4GeVまでの加速を容易にするため、いずれも珪素鋼板の接着材による積層である。偏向電磁石は1mm厚のC型珪素鋼板、4極と6極の電磁石は0.5mm厚の上下分離対称型の珪素鋼板の積層で、電磁石はロシアのBINP(Budker Institute of Nuclear Physics)、架台は川崎重工業で製作された。主コイルはやや太目の中空銅管(12mm角7mm Φ 中空)で被覆はガラスファイバーのエポキシ真空含浸である。

各電磁石のトリムコイルと電源は磁場を1%~2%変えられる様に準備されている。これらの電磁石制御系は他所に報告されている[3]。(x-y)舵取り電磁石は32台の6極電磁石に組み込まれている他に、DB電磁石の間に設置されているQF2電磁石の下流に(x-y)舵取り電磁石が8台用意されている。これらの電磁石の磁場データをもとに軌道安定性も検討されている[4]。

16年1月から3月には、石川島播磨重工業がBPM付のリング用アルミ合金製真空槽を納入し、排気ポンプ類を納入したアルバックが、真空槽をブランク後に電磁石に挿入しスパッタ・イオンポンプ(SIP)とチタンゲッターポンプ(TGP)で排気し、6月に 10^{-8}Pa 台の真空度を得ている。全排気速度はSIPが8800-1/sで、TGPが48000-1/sである。真空度は16台の偏向電磁石と8本の長直線部に設置した24台のCCGで測定されている。偏向電磁石部の平均真空度は $1.8 \times 10^{-8}\text{Pa}$ で、ステンレス製の長直線部の平均真空度は $9 \times 10^{-8}\text{Pa}$ である。工藤電機は電磁石電源の他にセプタムとキッカー及びパルス電源を製作し、調整運転を行った。

リング加速空洞(499.8MHz)はKEK-PF型で[5]、高周波源とともに(株)東芝が6月に設置し、リング加速空洞のRFリングを行い、90kWのRF供給時に500kVの加速電圧を得ている[6]。蓄積電流がまだ少ないので、ラ

ンプアップ時の加速電圧は400kV程度である。

4月から5月には250MeV電子リニアックの6MeVバンチャーからリングまでの電子入射系の各種電磁石と真空系部品の他に、リング長直線部の真空系部品もIDXとアルバックで製作され我々が組立てて真空を立上げた。6月から7月には東芝が250MeVリニアックの高周波源(E3729, E3712)とリングの高周波源(E3774)が設置された。7月-8月には日新電機と日本高周波が電子リニアックの高周波源を、石川島播磨がリニアックと入射系のビーム位置モニター系の調整、各種インロックの整備を行った[7]。

3. 光源施設の立上げ

8月25日には三菱電機が設置した6MeVバンチャーによるビーム加速、9月29日には250MeVリニアックによるビーム加速に成功し10月18日から入射を続けている。電子リニアックの主要部の構成は前FEL研のものと同様である。リニアックの立上げの詳細は本報告集で報告される[8]。

使用する進行波型加速管は旧電総研と三菱電機で開発したもので[9]、長さは2.92mで、filling timeは約1 μs である。毎秒1 μs に入射で、1 μs 中のミクロン数は22(44.8ns間隔)の多バンチャー入射である。

リニアックとリング加速空洞の周波数は2856 MHzと499.8MHzで、将来計画ではリニアックビームで発生する赤外自由電子レーザーとリング放射光の同期照射によるpump-probe実験も可能である[10]。

電子ビームを加速管の中心を通すために蛍光板を用いたビーム位置モニターを各加速管の入口に設置した。蛍光板には $\phi 2\text{mm}$ の孔があり加速管中心に合わせて設置している。各加速管の間には4極電磁石(ダブレット)と(x-y)舵取りコイルが設置されていて、これらを使ってビーム位置モニターを見ながら電子ビームを加速管の中心を通す。ビームは第1加速管または6本の加速管の先端に置かれた水槽に入射し、水中のチェレンコフ光の長さが最長になるように加速管に供給されるrfの位相を調整した。6本の加速管の位相調整に要した時間は約40分だった。

リニアックビームは257MeV-5nA、エネルギー幅0.9%(FWHM)で、ビームの約50%がセプタム電磁石を通過してリングに入射される。2004年11月12日に250MeV電子の蓄積に成功した。その後セプタム電磁石のコイルの破損等で修復に時間がかかり今年6月14日現在の蓄積電流は2mAである。高周波ノックアウト系[11]によるチューンの測定値は $v_x=5.31$ 、 $v_y=2.27$ で、この時のエミッタンスは表1に示す設計値より大きい。

ビームはキッカー無しでリングを4周するが、通常は $1\mu\text{s}$ (FWHM) パルス (正弦半波) の4キッカーで蓄積している。

1. 4GeVランプアップ時における真空圧の蓄積電流依存性は $1.0 \times 10^{-6}\text{Pa}/\text{mA}$ で、真空の枯らし運転が足りないことを示す値である。

セプトムコイルの改良で1mAが容易に貯められるようになったので、8セルで24セット(24×4)のBPMで閉軌道を測定し、40組の(x-y)舵取り電磁石励磁して閉軌道がどのように変化するかを調べCOD補正の手掛りを探っている。

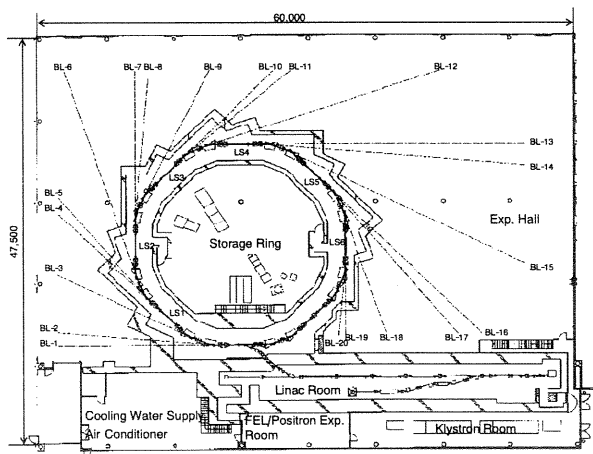


図1. Layout of 1.4-GeV storage ring, 250-MeV linac injector and two-color IR-FEL facility.

4. 今後の予定

- 1) ミクロバンチ数は88 (11.2ns間隔) に増加できるので入射速度を4倍近くに速める。
- 2) パルス幅を $2\mu\text{s}$ パルスに増強し、蓄積効率を向上する。
- 3) COD補正
- 4) 夜間の連続真空枯らし運転。
- 5) 福岡県西方沖地震対策

6月15日から約1ヶ月3月20日に発生した震度5レベルの地震による建屋基準点と電磁石、特に4極電磁石の設置位置変動の精密測定を行っている。測定結果によって電磁石水平・垂直レベルが0.2mm以内収まるよう再配列される。

6) 当面の目標は蓄積電流100mAで寿命1時間、最終目標は300mAで $1/e$ 寿命5時間。

表1: Main parameters of the Saga storage ring magnets and stored beam.

Electron beam energy	0.2~1.4 GeV
Beam current & life	300 mA & 5 hs at 1.4 GeV
Circumference	75.6 m
Lattice	DB(A) × 8 (eight fold symmetry)
Straight sections	2.93 m × 8
Emittance (nm-rad) 15	[35 (7.5-T wiggler)]
Tunes (ν_x, ν_y)	6.796, 1.825 [6.796, 1.825]
Momentum compaction	0.008074
Energy spread	0.000672 [0.00079]
Radiation loss (keV)	106 [123]
RF frequency (MHz)	499.8
RF power & field	90 kW & 500 kV
Harmonic number	126
Bunch length σ (mm)	8.8 [10.35]
Beam sizes at straight section (coupling = 0.01) at $\eta=0.62$	
σ_x (μm)	580 [680]
σ_y (μm)	34 [52]
Injection energy (MeV)	262
Dipoles & number	11.25° edge focusing & 16
Radius & field	3.2 m & 1.459 T
Number of quadrupoles	40 (16QF1, 16QD1, 8QF2)
Length (m)	0.2(QF1), 0.2(QD1), 0.3(QF2)
Max. gradient(T/m)	27(QF1), 27(QD1), 25(Qf2)
Number of sextupoles	32 (16SF, 16SD)
Length (m)	0.10(SF), 0.14(SD)
Max. gradient(T/m ²)	150

REFERENCES

- [1] T. Tomimasu et al., Proc. of PAC03, Portland (2003) p.902.
- [2] S. Koda et al., Presented at PAC05, Knoxville(2005)
- [3] H. Ohgaki et al., Proc. of PAC03,Portland(2003) p.2387.
- [4] Y. Iwasaki et al., Proc. of PAC03,Portland(2003) p.3270.
- [5] T. Koseki, M. Izawa, and Y. Kaimiya, Tech. Report of ISSP No.2980 (May 1995) pp.1-8.
- [6] S. Koda et al., Proc. of 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan (Aug. 2004) p.284.
- [7] Y. Iwasaki et al., this Proceedings.
- [8] Y. Takabayashi et al., this Proceedings.
- [9] T. Tomimasu, IEEE Trans. NS-28(3),(1981)3523.
- [10] M. Yasumoto et al., Jpn. J. Appl. Phys. 41(2002) Suppl. 41-1, p. 44.
- [11] S. Koda et al., this Proceedings.