

V 光源／ビームラインの現状

1 光源

江田 茂 九州シンクロトロン光研究センター

1. はじめに

SAGA-LS 光源加速器は 2003 年から 2004 年にかけて建設され、2004 年後半から運転調整が行われた。現在、定常的な放射光の提供が行われている^{1,2)}。本報告では加速器建設、立ち上げ調整の概略及び加速器の現状と今後について報告する。加速器の構成、デザインについては本年報の富増氏の報告³⁾に詳述されている。そちらを参照されたい。

2 加速器建設 2003 年-2004 年

SAGA-LS は 1999 年に佐賀県により建設が決定された。2001 年に建屋工事が開始され、2002 年秋に加速器を設置する実験研究棟が完成した。加速器は入射用リニアックと蓄積リングから構成されている^{3,4)}。予算執行上の都合から蓄積リングの建設が先行した。



図 1 偏向電磁石搬入状況(2003 年 10 月)。トラックの荷台にあるのが偏向電磁石。実験ホールに直接、トラックとクレーンを乗り入れ、重さ約 4t の偏向電磁石 16 台を蓄積リング遮蔽壁そばに下ろした後、コロ引きでリング内最も奥から順次に搬入設置した。

本格的な建設は 2003 年 9 月から開始された。最初に蓄積リング電磁石の設置及び加速器全系用冷却水設備（リニアック 2 系統、蓄積リング 2 系統）の設置工事がほぼ並行して行われた。図 1 に偏向電磁石の蓄積リング内への搬入、図 2 に四極、六極電磁石のアライメントの状況を示す。また冷却水設備室の設置工事中の状況を図 3 に示す。



図 2 マグネットアライメント。レーザートラッカー、測量器等を用いて設置精度 $\pm 200 \mu\text{m}$ で行った(2003 年 10 月)。



図 3 設置中の冷却水系の状況(2003 年 9 月)。左側ビニールシートに覆われたものが蓄積リング電磁石冷却系、右側は蓄積リング高周波空洞冷却系。

同年末、蓄積リングアルミ真空チャンバーの納品が始まった。この真空チャンバーのプレベークは施設スタッフ自ら行った。図4にその状況を示す。真空チャンバーのプレベークと平行して、ベークの終了したチャンバーから順次蓄積リングに設置された。図5はベーク済みチャンバーの蓄積リングへの設置作業の状況を示している。



図4 リング真空チャンバープレベークの状況(2004年1月)。実験ホールで2セル分の真空チャンバーを仮組みし、プレベークを行った。



図5 蓄積リング真空チャンバー設置状況(2004年2月)。偏向電磁石内へ放射光取出しポート付きの真空チャンバーを押し込んでいるところ。

2004年春からリニアックの建設が開始された。図6にリニアック室の加速管設置作業中の状況を示す。夏にはほぼ建設は終了した。またこの時期並行して蓄積リング電磁石電源と蓄積リング高周波系の設置工事も行われた。図7は設置作業中の高周波空洞を示す。空洞は真空立ち上げ後、エージングを進め、

6月下旬にはビーム負荷なし条件における定格パワーを投入に成功した⁵⁾。2004年秋にはリニアック、蓄積リング共に主要機器の設置、立ち上げがほぼ終了した。



図6 リニアック設置作業中のリニアック室。(2004年6月)。バンチャーセクション出口から下流を撮影。加速管(AT1)が既に設置されている。

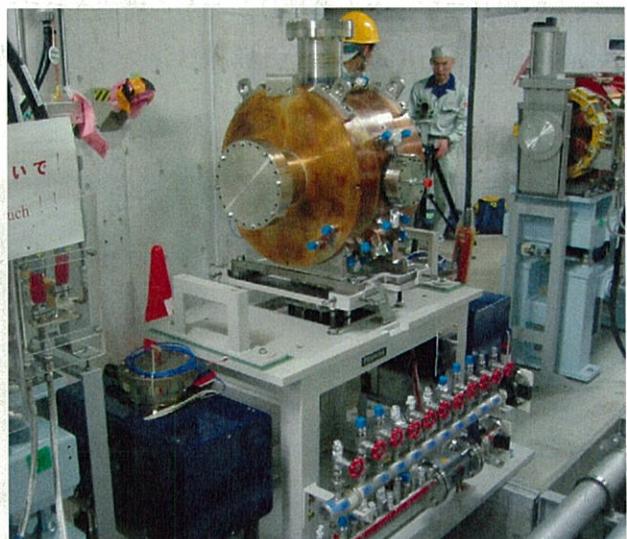


図7 蓄積リング長直線部LS7における高周波空洞設置中の状況(2004年5月)。

3. 運整 2004年-2005年

2004年8月からリニアックの立ち上げ調整が開始された。電子銃の立ち上げ、バンチャーセクション出口におけるエネルギースペクトル測定、加速管

の位相調整とすすめた。2004年秋にはリニアック出口において約250MeVに加速された電子ビームを確認した。図8は初期の加速管位相調整のための実験である。リニアックの出口に水槽を設置し、そこへ打ち込まれた電子ビームのチエレンコフ光からおよその飛程を求め電子の大まかな加速エネルギーを見積もった。

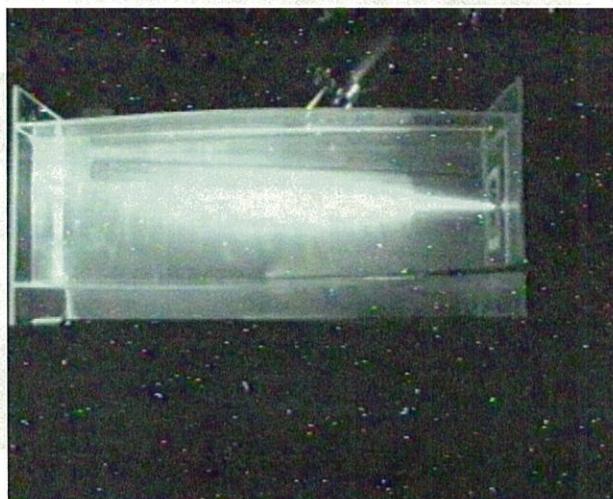


図8 水槽に打ち込んだリニアックビームによるチエレンコフ光(2004年10月)。チエレンコフ光の発光領域の長さ(約60cm)から電子ビームはおよそ250MeV程度であることがわかる。

2004年11月にはリニアックの運転パラメータはほぼ確定し、蓄積リングの入射蓄積スタディを開始した。同月に蓄積に成功した。図9に初めて蓄積に成功した際の放射光を示す。



図9 エネルギー250MeVで初めての蓄積ビームからの放射光(2004年11月)。ビームポートBM20において撮影。

その後、蓄積電流増大に向け調整を進めたが入射部の技術的課題、2005年5月に発生した福岡西方沖地震、リニアック加速管真空リーク等の影響で蓄積リング運転調整が遅れた。地震後の再測量、再アライメント、入射部改修、電磁石電源改修を経て2005年8月に当初の目標である100mA蓄積の目途がついた。図10に蓄積試験中の放射光を示す。2005年12月15日に国の定める施設検査に合格し、施設は正式に加速器の運用を開始した。



図10 100mA電流蓄積テスト中の1.4GeVでの放射光(2005年8月)。

4. 加速器現状

2006年2月17日に施設は正式に開所した。実験ホール、リニアック及び蓄積リング室の現状をそれぞれ図11,12,13に示す。施設検査以降も加速器は徐々に性能を上げ、現在では施設申請上の最大電流値である100mA近くで安定に運転を行っている。ビームラインの多くが現在立ち上げ調整途中にあるがBL9,BL15では既に外部ユーザーの利用が始まっている。

蓄積リング真空は順調に枯れています。ビーム寿命と電流の積($i\tau$ 積)は現在1000mAhに達している。100mAでのビーム寿命は10時間となり実用的な意味でユーザー利用に十分耐えうる段階に達している。運転調整初期からのリングの入射電流積算値に対する $i\tau$ 積増大の様子を図14に示す。また、この間の

光源／ビームラインの現状

運転統計を表1に示す。2005年12月、施設検査に合格し、正規利用がはじまったので「加速器調整」、「故障時間」等の統計をとりはじめた。

加速器は現在ほぼ確定した運転パターンで運用されている。リニアック蓄積リングへの入射は約8nC/secで行われ、蓄積リングへの入射効率は数%程度である。入射蓄積速度は数百 μ A/sec程度である。典型的な1日の運転パターンでは10時と15時に入射を行い21時に運転を終了する。図15に典型的な運転日の蓄積リングビーム強度の変化を示す。入射調整時間を除き計10時間放射光をユーザーに提供する。

週の基本運転サイクルは1週5日、このうちマシンスタディ1日、隔週で点検日1日、残りがユーザー運転となっている。現状の週当たりの平均ユーザータイムは30時間程度である。土、日、夜間について



図11 実験ホール現状。実験ホール内南東側2階より撮影。



図12 リニアック室現状。



図13 蓄積リング室現状。

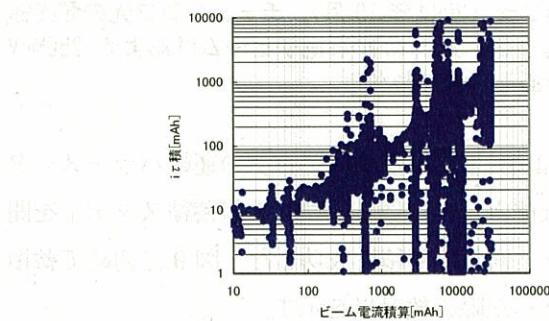


図14 積分電流値に対する $i\tau$ の増大

表1 運転統計

2004年度

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	計
リニアック運転時間					21.15	39.8	62	101.7	60.73	67.7	83.27	59.65	496
蓄積リング1.4GeV貯蔵時間											8.18	8.07	16.25

2005年度

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	計
リニアック運転時間	27.07	39.47	38.95	42.77	59.05	31.43	22.47	19.57	4.18	26.28	31.82	12.88	355.93
蓄積リング1.4GeV貯蔵時間	4.25	5.4	1.07	0.42	42.68	52.43	83.57	63.88	12.78	86.5	87.85	51.5	492.33
加速器調整(含マシンスタディ)時間(内数)									10	60	64	26	160
故障時間(ユーザータイム損失時間)									0	0	30	0	30

ては基本的に運転を停止するが、ビームラインの放射光による真空からし等の要求により低電流運転が行われることがある。

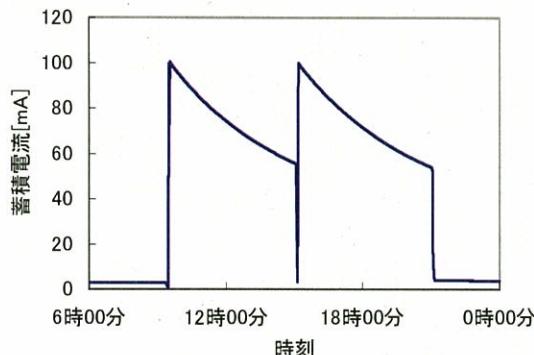


図 15 典型的な運転日におけるビーム強度の一日の変化。

5. 今後の計画

現在 300mA 運転に向けた準備を進めている。文科省への変更申請手続きを進めており、これに平行して物理的な課題（放射光による熱負荷増大の影響、ビーム不安定性の制御等）に対する検討を行っている。変更承認を受け次第、蓄積電流増強に向けたスタディを開始する予定である。佐賀県は今後 2~4 年の中期計画として挿入光源（アンジュレータ、超伝導ウィグラー）を利用するビームライン建設を検討している。ウィグラーについては既存のものを利用すること^{6,7)}も含め様々な可能性を検討している。中期計画が実現すればアンジュレータにより波長あたりの輝度は約 3 柄、超伝導ウィグラーにより放射光エネルギーの上限は数倍拡大され、より高エネルギーの X 線利用が可能となる。また地域の大学もビームライン設置の検討を行っている。

さらに将来的な可能性としてはリングに蓄積された高エネルギー電子を利用してレーザーコンプトン実験について検討がなされている⁸⁾。

6. まとめ

SAGA-LS は 2003 年-2004 年の建設、2004 年-2005

年の運転調整を経て、現在安定に 1.4GeV100mA の電子ビームの蓄積を行い、定常的な運転パターンで放射光の提供を行っている。今後蓄積電流の増強を行う計画である。ビームラインでは外部ユーザーの放射光利用も始まっている。中期的にはアンジュレータ、ウィグラーの設置を進め、輝度、波長領域についてさらなる SAGA-LS の光源性能の向上を計画している。

参考文献

- 1) S. Koda, *et al.*, "Status of SR Facility SAGA-LS", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tohoku University, 2006, to be published.
- 2) 江田茂、"放射光施設 SAGA-LS"、第 18 回応用物理学会放射線分科会夏の学校テキスト、(2006), pp.56.
- 3) 富增多喜夫、「佐賀シンクロトロン光源建設の経緯」, SAGA-LS 年報, pp.6.
- 4) T. Tomimasu, *et al.*, "The SAGA Synchrotron Light Source in 2003", Proceedings of the 2003 Particle Accelerator Conference, Portland, USA, (2003), pp.902.
- 5) S. Koda, *et al.*, "Construction of RF System for Storage Ring at SAGA-LS", Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Institute of Quantum Science, Nihon University, (2004), pp.284
- 6) S. Koda, *et al.*, "Feasibility Study on Introducing a Superconducting Wiggler to Saga Light Source", Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee, USA (2005) pp.1021.
- 7) 江田茂他、「放医研超伝導ウィグラー設置可能性の検討」, SAGA-LS 年報, pp.44.
- 8) H.Ohgaki, et al, "Scheme of Laser-Compton Gamma-ray Beamline in SAGA-LS", Proceedings of the 9th International conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, Daegu, Korea (2006), to be published