

佐賀シンクロトロン光源の建設と立上げ

富增多喜夫*¹・江田 茂*¹・岩崎 能尊*¹
高林 雄一*¹・吉田 勝英*¹・大垣 英明*²

Construction and Commissioning of the SAGA Synchrotron Light Source

Takio TOMIMASU*¹, Shigeru KODA*¹, Yoshitaka IWASAKI*¹,
Yuuichi TAKABAYASHI*¹, Katsuhide YOSHIDA*¹ and Hideaki OHGAKI*²

Abstract

The SAGA Light Source (SAGA-LS) is the first third-generation synchrotron light source designed, constructed and operated by the local government, Saga Prefecture, in Japan 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 commissioning began on August 24, 2004. The first synchrotron light was observed on November 12. The commissioning goal of 1.4 GeV-100 mA was achieved on August 25, 2005. The SAGA-LS was opened to users in February 17, 2006.

1. はじめに

九州シンクロトロン光研究センターの 1.4 GeV シンクロトロン光源 (佐賀 LS) では, 2004 年 11 月 12 日に 250 MeV 電子の蓄積に成功し, 2005 年 8 月 25 日には 258 MeV-304 mA の入射蓄積と 1.4 GeV-100 mA の電子加速・貯蔵に成功した。ユーザー運転でのチューンは $v_x = 4.20$, $v_y = 3.23$, $1/2$ 寿命は 2006 年 3 月 8 日現在 100 mA で 5.2 時間 ($i\tau_{1/2} = 520$ mAh) である。2005 年 11 月 28 日に 財原子力安全技術センターによる施設検査を受け, 12 月 15 日合格通知を受領した。2006 年 2 月から, 光源は当面 1.4 GeV-100 mA (目標 300 mA) 運転で 3 本の県有ビームラインと佐賀大のビームラインによる利用研究が始まっている。

2. 佐賀 LS の概略

光源と建屋の設計は平成 11 年度 (1999 年) から始められた。佐賀 LS 場合, 予算とスペースの制約があり, 250 MeV リニアックによる 1.4 GeV リングへの低エネルギー入射蓄積・加速貯蔵方式を採用している。最近流行の top-up 運転は 1990 年筑波のソルテック・1 GeV リングで実現されたが¹⁾ リングと同じエネ

ルギーの入射器を必要とする。予算の関係でリングと同じエネルギーの入射器を用意できなかったのは残念である。

リングは周長 75.6 m 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 (2.4 m × 5, 1.5 m × 1) が設置可能な第 3 世代光源である。図 1 に 1 セル分の電磁石配列を示す。リングの周長は 1.5 GeV 級光源である TLS (台湾) や NewSUBARU 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できるように設計されている。ビームサイズとエミッタンスはエネルギー分散値 0.4 m~0.62 m で最小になる²⁾。

光源の消費電力を夏季でも 1200 kW, 施設全体でも特別高圧受電設備を必要としない 2000 kW 以下に抑えている。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。施設建屋の大きさは東西 50 m, 南北 75 m で, 図 2 に示すように出来るだけ施設を小さくして安価にするためリニアック先端からリングのセプタム電磁石までの入射ビームラインは長さを 7 m と短くしている。施設の建設費は, 光源装置が 19.4 億円, 建屋が約 11 億円である。ビームポート数は 20 あり実験ホールには最長 35 m のビームラインが設置できる。

*¹ 佐賀 LS SAGA Light Source, Tosu (E-mail: tomimasu@saga-ls.jp)

*² 京大エネルギー理工研 Institute of Advanced Energy, Kyoto University, Kyoto

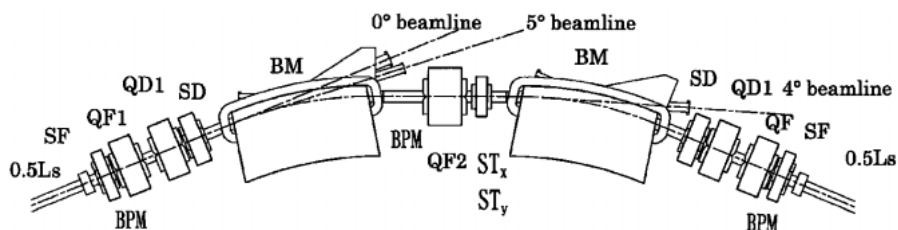


図1 1セル分の電磁石配列

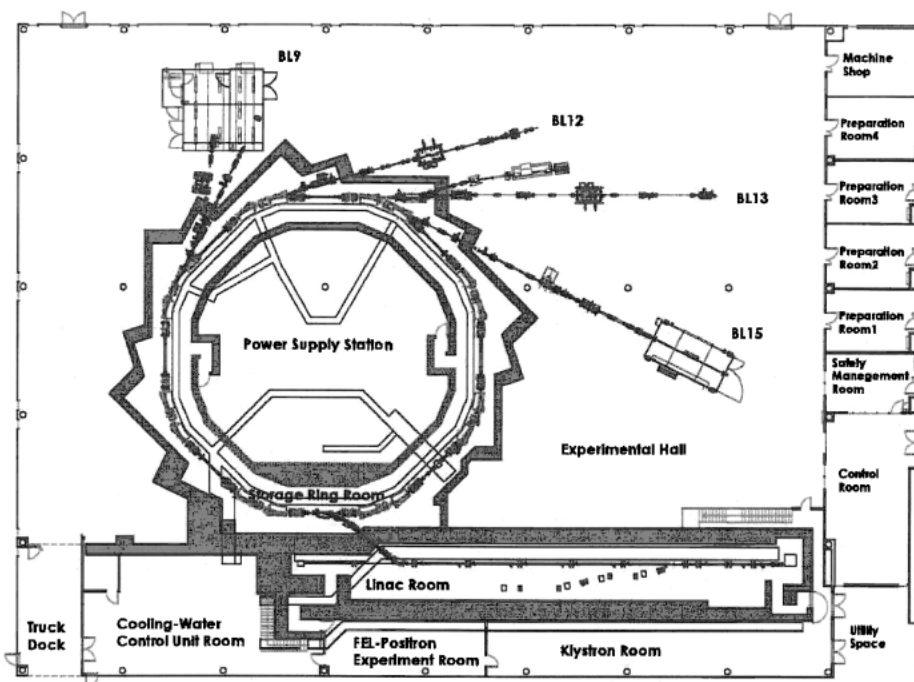


図2 佐賀シンクロトロン光研究施設の平面図

電子ビーム・エミッタンスは設計チューン D ($\nu_x = 5.796$, $\nu_y = 1.825$) の場合, 挿入光源なしで $25 \text{ nm} \cdot \text{rad}^3$, 7.5 T ウィグラーの挿入時には $47 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ に増加する. 最近まで 7 T ウィグラーの設置が検討されてきたが⁴⁾, 磁場を 4 T に下げる方向で設置計画が見直しされている. ここでは参考までに 7.5 T ウィグラー関係の数値を記載しておく.

電子ビームのサイズ (σ_x , σ_y) は偏向 (BM) 電磁石 4 度偏向発光点で水平・垂直それぞれ 0.18 mm, 0.038 m (カップリング 1%), 長直線部中央で挿入光源なしで 0.58 mm, 0.041 mm, 7.5 T ウィグラー挿入時は 0.68 mm, 0.052 mm に増加する. BM 電磁石 ($\rho = 3.2 \text{ m}$, $B = 1.46 \text{ T}$, 励磁電流 540 A) と 7.5 T ウィグラーからの放射光の臨界エネルギーは, それぞれ 1.9 keV と 9.8 keV である.

表 1 に佐賀 1.4 GeV リングと電子ビーム等の主なパラメータ (目標値) を, 表 2 に佐賀リニアックの電

子銃, プリバンチャー バンチャー等のパラメータ (目標値) を示す.

3. 光源建設

光源建設は, 2003 年 9 月から真空立上げまでに長時間を必要とする 1.4 GeV リングの設置に着手し, 250 MeV リニアックと電子入射系の設置完了まで 1 年の予定で始められた. 2003 年 9 月から 2004 年 2 月にかけてリング室, リニアック室, 実験ホールの基準点設置, 温度制御冷却水装置の設置, 1.4 GeV リングの電磁石と架台の据付, 測量, 基準点設置, 電磁石の位置調整, 等が行われた. リング電磁石と入射系電磁石の据付・精密位置調整にはリング室の内周遮蔽壁とリニアック室とリング入射部の間の遮蔽壁の高さ 1700 mm に空けられた 70 mm × 200 mm の観測孔が役立った.

リング電磁石は全部 104 台で, 重量 4.2 トンの BM

表1 佐賀 1.4 GeV リングと電子ビーム等の主なパラメータ (目標値)

Electron beam energy	0.2~1.4 GeV	RF frequency (MHz)	499.8
Beam current & life	300 mA & 5 hs at 1.4 GeV	Harmonic number	126
Circumference	75.6 m	Momentum compaction	0.0134
Lattice	DB×8	Injection energy (MeV)	262
Straight sections	2.93 m×8	Dipole & number	11.25° vedge focusing & 16
Emittance (nm·rad)	25 [47(7.5 Twiggler)]	Radius & field	3.2 m & 1.459 T
Tunes	5.796, 1.825 [5.796, 1.825]	Number of quadrupoles	40 (16QF1, 16QD1, 8QF2)
Energy spread	0.000672 [0.00079]	Length (m)	0.2 0.2 0.3
Radiation loss (keV)	106 [123]	Max. gradient (T/m)	27 27 25
Bunch length (mm)	8.8 [10.35]	Number of sextupoles	32 (16SF, 16SD)
Beam size at straight section (coupling=0.01 at $\eta=0.62$)		Length (m)	0.1 0.14
$\sigma_x(\mu\text{m})$	580 [680]	Max. gradient (T/m ²)	150 150
$\sigma_y(\mu\text{m})$	41 [52]		

表2 佐賀リニアックの電子銃, プリバンチャーバンチャー等のパラメータ(目標値)を示す

Gun	Thermionic triode	(EIMAC 646B)
	Injection energy	120 keV
	Trigger pulse	140 V-0.6 ns (22.3125 MHz or 89.25 MHz)
Prebuncher	Frequency	714 MHz
	Q-value	~2000
	Peak field	80 kV for 15 kW rf
Buncher	Frequency	2856 MHz
	Energy	5 MeV for 1 MW rf
Linac	Electron energy	262.5 MeV
	Energy spread (FWHM)	1%
	Beam radius	0.5 mm
	Micropulse charge	0.6 nC
	Micropulse separation	44.8 ns
	Macropulse	1 μs
	Repetition rate	1 Hz
Accelerating tubes	2.93 mx6	

電磁石 16 台, QF1 電磁石 16 台, QD1 電磁石 16 台, QF2 電磁石 8 台, SF 電磁石 16 台, SD 電磁石 16 台の 88 台はロシア・ノボシビルスクの BINP (ブドカー原子核研究所) で製作された。電磁石の架台 40 台は川崎重工業(株)で製作され, 電磁石位置制御にはロードエンド・ベアリングによる微調整機構を採用している。

温度制御冷却水装置としては多田電機(株)製の 40 ± 0.1 度 (リニアック高周波系用) 制御と 40 ± 0.5 度 (リング加速空洞用) 制御の 2 台と $35 \text{度} \pm 1.0$ 度 (リング電磁石用とリニアック電磁石用) 制御の 2 台,

合計 4 台が設置された。

BM 電磁石はドイツ製 1 mm 厚の無方向性珪素鋼板を接着積層で製作した 22.5 度偏向電磁石である。11.25 度のエッジフォーカスで, 磁極両端は近似的なログスキーカットである。4 極電磁石と六極電磁石の磁極端面はログスキーカットではないが, 磁場変化に伴う磁極長変化を少なくするように角が落とされている。ロシア製の 6 極電磁石には舵取り電磁石が組み込まれている。

2004 年 1 月から 3 月にかけて, 石川島播磨重工業(株)から納入された 8 セル分のリング用アルミ合金製真空槽を 1 セル毎に順次プリベークして, 基準点調整が完了したリング電磁石に挿入し, SIP (sputter ion pump), TGP (titanium getter pump) と CCG 真空ゲージを取付け, 真空の立上げを行った。図 3 に BM 電磁石部真空槽の断面形状と 4 極・6 極部真空槽の断面形状を示す。真空コンダクタンスが大きくなるよう断面積は出来るだけ大きくした。BM 電磁石は C 型構造なので真空槽は水平方向に挿入し, 4 極・6 極電磁石は半割りにして真空槽を設置した。真空槽と磁極との間隔は平均 1.5 mm 程度であるが, 1 mm 厚のスペーサを入れ, 真空槽には 75 μm 厚のカプトン・シート 2 重巻きにして挿入した。4 極・6 極電磁石の半割りと復元作業は川崎重工業(株)によって行われた。

長直線部真空槽との接続部 16 箇所には 152 ϕ の, また 4 度ビームライン (BL) のフロントエンド 4 箇所と 5 度 BL のフロントエンド 2 箇所にはそれぞれに 114 ϕ の SSK-VAT 社製のゲートバルブと 100 L/s-SIP を取り付けた。現在設置されている BL9, BL12, BL15 (図 2 参照) の 3 本は県有 BL で, それぞれ BM6, BM8, BM10 の 4 度偏向部の放射光を, BL13

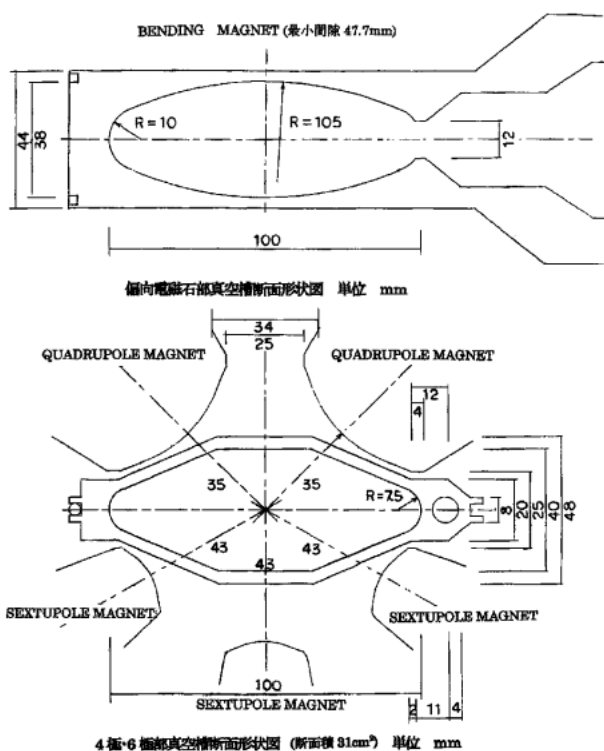


図3 偏向電磁石部真空槽(上)と4極・6極部真空槽(下)の断面形状

は佐賀大 BL で BM9 の 0 度偏向部の放射光をエンドステーションまで導いている。BM13 の 5 度と BM14 の 4 度のフロントは放射光観測用である。

その後 9 ヶ月間 SIP と TGP で真空引きを行い 2×10^{-8} Pa 程度の真空圧に達していたが、2005 年 6 月に 8 セルの BM 真空槽と長直線部真空槽内を見通せるように、16 個のビューアを取付けた。そのため 20 分ほど大気開放したが、8 ヶ月後には $1 \sim 2 \times 10^{-8}$ Pa 程度の真空度に達している。リング真空槽にはアルバック製の 360 L/s-SIP を 2 台 (加速空洞)、200 L/s-SIP を 30 台 (BM と長直線部)、100 L/s-SIP を 24 台 (4 極・6 極電磁石) と 2000 L/s-TGP を 16 台 (BM)、1000 L/s-TGP 16 台 (BM) を使用し、全排気速度は 57120 L/s である。この外フロントエンドの 6 箇所にそれぞれ 100 L/s-SIP が設置されている。

2004 年 3 月から 4 月には、6 極電磁石を設置しない QF2 電磁石と下流の BM 電磁石の間 (図 1 参照) に必要な舵取り電磁石 ST_x8 台と St_y8 台の 16 台が、リニアック入射器用偏向電磁石 3 台と 4 極電磁石 38 台と共に東京電子㈱で製作された。これらの電磁石電源とリング電磁石電源は工藤電機㈱で製作され設置された。電源制御は低コストで拡張性のある PC-Lab View ベースで行われている⁵⁾。リング電磁石および

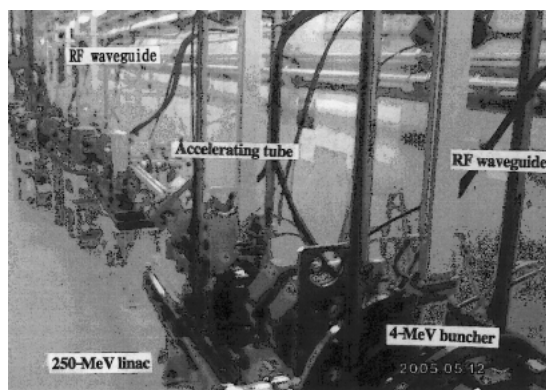


図4 4 MeV バンチャー部から眺めた 250 MeV リニアックの全景

リニアック入射器系電磁石と各電源との配線工事は地元業者によって行われた。

2004 年 5 月には三菱電機㈱で製作された 250 MeV 電子リニアック用の 4 MeV バンチャー、6 本の 3 m 長進行波型加速管とそれらの架台が納入され、リニアック室の基準点に合わせて所定の位置に設置された。同じ時期にリニアックからリングまでの電子入射系真空槽、セプタム真空槽、8 セル分の長直線部のステンレス製真空部品がアルバックから納入された。

4 月から 8 月に掛けて、光源グループは 250 MeV リニアックの組立と 1.4 GeV リングの組立に着手し、4 MeV バンチャー、6 本の加速管の間に真空ダクト、45 L/s-SIP、4 極電磁石 (ダブレット)、舵取りコイル、蛍光板を用いたビーム位置モニタ (SM) を設置して真空を上げた。図 4 は 4 MeV バンチャー部から眺めたリニアック全景を示す。

リニアック先端部には、図 5 (下) に示すような 40 度偏向電磁石真空槽を含む入射系⁶⁾を設置し、真空ダクト、45 L/s-SIP、4 極電磁石 (ダブレット)、舵取りコイル、SM を取付け真空を上げた。さらにセプタム真空槽を含む 8 セル分の各長直線部真空槽に 200 L/s-SIP を 2 台と CCG 真空ゲージを取付け、真空を上げた。また工藤電機㈱が納品したセプタム電磁石と 4 台のキッカーパルス電磁石は図 5 (上) に示すように、それぞれステンレス製セプタム真空槽内とセプタム真空槽の上流と下流の各 2 箇所に設置されたセラミック真空ダクトに取付けられた。

セプタム電磁石が設置されたセプタム真空槽内の真空圧は 10^{-3} Pa 程度で 8 mmφ の電子入射孔は 75 μm 厚のカプトン箔で 1×10^{-8} Pa 程度のリング真空槽と真空シールされている。電子ビームは設計軌道から 35 mm 離れて平行に入射され、セプタム真空槽の隔壁は

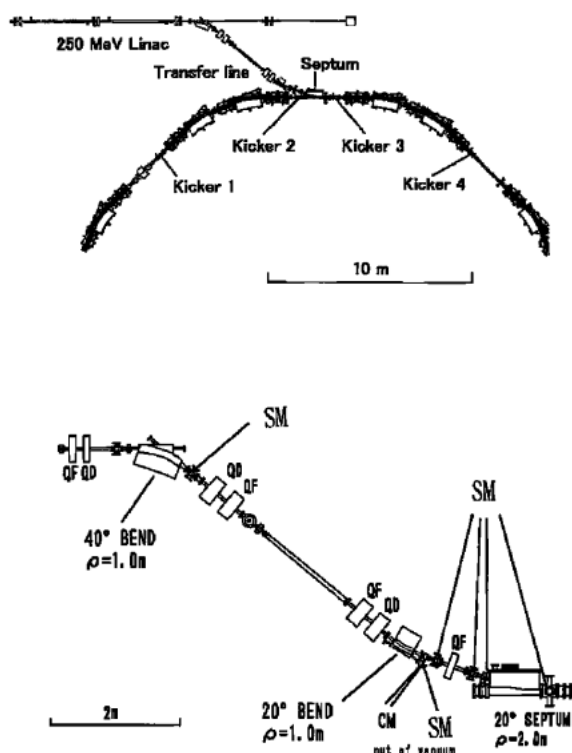


図5 リング入射系
(上)リニアック先端からセプタムとキッカーまでの電磁石配列
(下)40度偏向電磁石上流部からセプタムまでの電磁石, SM, CM の配列

設計軌道から 25 mm 離れている。

2004年5月から6月にかけて(株)東芝製の499.8 MHz リング加速空洞と高周波源(東芝クライストロン E3774 とその電源)が設置され, 6月下旬から加速空洞のRF枯らし運転が始められた⁷⁾。この加速空洞は国内外で使用実績のある KEK-PF 型で⁸⁾、高周波空洞に接続するビームダクトの口径を広げて周波数の高い高次モード成分を空洞外に引き出し, SiC ダクトにより吸収する HOM 対策を施した加速空洞である⁹⁾。このため高次モード対策用チューナーの位置調整も必要になる。

499.8 MHz の周波数は, 2856 MHz リニアックのマイクロパルスの5つに1つがリング高周波バケットに同期するように選ばれた。必要な高周波電力は, 1.4 GeV-300 mA ビームの偏向電磁石による放射損失が約 32 kW, 将来 7 T ウィグラーを2台設置することを想定してウィグラーによる放射損失が約 10 kW で全放射損失が約 42 kW, 空洞壁損失約 36 kW, 伝送ロスを 8 kW と想定すると約 86 kW となるが, 加速空洞には最大 90 kW の RF 供給が可能である。加速時の加速電圧は BM 等のリング電磁石磁場の増加

と連動して, 7段階のステップ状に 500 kV まで増やせるようになっている。加速空洞の真空排気系には 360 L/s-SIP が2台設置され CCG 真空ゲージを使用して真空圧をモニターしている。貯蔵電流零のときの真空圧は $2.2 \sim 2.3 \times 10^{-7}$ Pa で, 2006年3月6日現在の 94 mA 貯蔵時の真空圧は 6.4×10^{-7} Pa である。

6月から7月には 250 MeV リニアック用の 714 MHz と 2856 MHz の高周波源が日本高周波と日新電機で製作され設置された。714 MHz-15 kW 半導体高周波源はプリバンチャー用で, バンチャーと加速管用の 2856 MHz 高周波源は東芝クライストロン E3729 と E3712 の2本とそれらのパルス変調器で構成されている。E3729 からの 36 MW 出力は, バンチャー, 第1加速管, 第2加速管に供給され, E3712 からの 88 MW 出力は第3加速管~第6加速管に供給される。リニアック加速管に高周波を伝送する導波管, 移相器, RF ダミー, 減衰器, 等は日本高周波(株)製で所定の位置に設置された。電子ビームをリニアック加速管の軸中心を通すために蛍光板を用いたスクリーンビーム位置モニター SM を各加速管の入口とリニアックの先端に設置した。蛍光板中心には $\phi 2$ mm の孔があり加速管中心に合わせている。SM は光源グループで設計し, 石川島播磨重工業(株)が製作し設置した。

4. 光源の立上げ

光源建設は予定より1ヶ月早く完成した。8月には電子リニアック加速管とリング加速空洞の RF エージング, リニアックと電子入射系のタイミング制御系調整を行うとともにビーム加速に先立って入退出管理システム, 放射線シャッター, 各種表示灯, 各種インタロック等が整備された。

2004年8月25日には, EIMAC-646B の熱陰極電子銃, 120 kV-DC 電源, 714 MHz プリバンチャー, 2856 MHz 定在波型バンチャーで構成された 4 MeV バンチャービームの加速に成功した。その後, 714 MHz プリバンチャーと 2856 MHz バンチャーへの RF 位相と入力レベルを調整しながらバンチャービームの 4 MeV エネルギースペクトル(半値幅 5%~200 keV)を測定して運転パラメータを決定した。電子銃のグリッド制御は英国ケンテック社製の 89.25 MHz グリッドパルサーで行っており, 出力 140 V パルス幅 0.6 ns ある。

電子リニアックの主要部の構成は前 FEL 研(阪大移管)のものと同じで, 使用する進行波型加速管は旧電総研(現産総研)と三菱電機で開発した。長さは 2.92 m で(図4参照), filling time は約 1 μ s である。

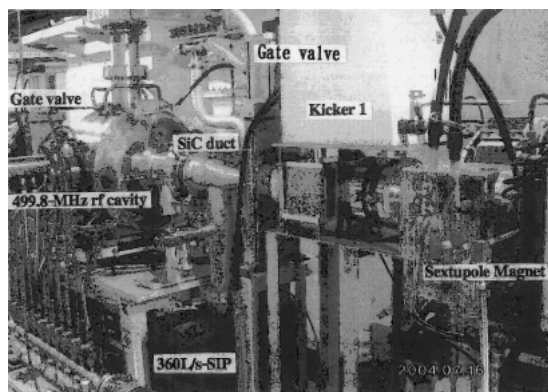


図6 リングの高周波加速空洞部上流のゲートバルブ, 加速空洞, SiCダクト, 360 L/s-SIP, ゲートバルブ, 第1キッカー, 6極電磁石の配列

毎秒1パルス入射で, $1\ \mu\text{s}$ パルス中のマイクロバンチ数は22 (44.8 ns 間隔) または88 (11.2 ns 間隔) の多バンチ入射である. 施設使用許可申請書通りリニアック加速電流は12 nA 以下に制限している. 従って1マイクロバンチ当たりのクーロン数は22バンチのときは0.55 nC, 88バンチのときは0.14 nCである. 電荷量はグリッド電圧を変えて制御している.

次に電子ビームがリニアック加速器の軸中心を通るように, 4極電磁石と舵取りコイルを用いて各加速管の間に設置された位置モニター中心の $2\ \text{mm}\phi$ 孔を通すように調整した加速管の軸中心を通して加速されたビームはリニアック先端の1 mm厚のステンレス窓を通して水槽に入射され, 水中のチェレンコフ光の長さが最長になるように各加速管に供給するRFの位相を調整した.

9月29日には250 MeV リニアックによるビーム加速に成功し, 加速エネルギーの周波数依存性, SF_6 ガス圧依存性等が調べられ, 10月18日からリング入射が始まった.

入射ビームのエネルギーは, 12 nA 加速時には最高262 MeV まで可変で, リニアック先端部に設置された40度偏向電磁石を用いてエネルギースペクトル幅0.9% (FWHM) を測定した.

図5に入射系の電磁石配列を示す⁶⁾. 普段は40度偏向電磁石下流に置かれた蛍光板でスペクトルをモニターしている¹⁰⁾. 分析電流は4 nA~5 nA で, 20度偏向電磁石と20度偏向セプタム電磁石で40度曲げ戻してリングの電子軌道から35 mm 外側を平行に入射し, 4台のキッカーを連動させて蓄積している. ビーム位置モニターSMは20度偏向電磁石出口, セプタム電磁石の入口と出口, リングの長直線部LS①

とLS⑤の先端部に設置されている. SMは非常に有用で最初の1ターン, 2ターンの軌道解析にも役立っている.

2004年11月12日には電子蓄積に成功した. この時のチューンは $v_x=5.30$, $v_y=2.70$ である. 丁度このころ第6加速管下流部に真空漏れが生じ, 日毎に真空圧が増加し12月には第6加速管下流部に設置した45 L/s-SIPのイオンポンプ電流が0.3 mA 近くまで増加して放電を起こすので, しばしば入射を中断せざるを得なかった.

さらにリング入り口のセプタム電磁石のコイルが正常でなく, 蓄積時の4キッカー (または3キッカー) の動作タイミングを $0.7\ \mu\text{s}$ ずつ遅らせないと蓄積できなかった. セプタム電磁石がセプタム真空槽内に設置されていることもあり, セプタムの漏れ磁場の異常さに気づくのに時間がかかった. それでもトリッキーなキッカーのタイミングで入射して3月2日には0.68 mA 蓄積し, 0.34 mA を1.4 GeV まで加速・貯蔵した.

悪いことは重なるもので3月20日に福岡県西方沖地震 (鳥栖で震度-5) が発生し, 光源チームでリングの40個の4極電磁石を測量したところ最大で垂直方向に0.6 mmの位置ずれが生じていることが判り, セプタム電磁石を真空槽から取り出しセプタムコイルの固定ネジが外れていること, そしてコイルが正常でないことに気付いた.

4月下旬から5月には真空漏れの第6加速管を新品に交換し, RF 枯らしを始めた. その後は測量会社がリング, リニアック, 実験ホールの基準点測量も含めて電磁石の位置ずれを測量した結果, 4極電磁石の位置ずれの大きさは最大で水平方向1.1 mm, 垂直方向0.5 mm であった. 電磁石設置会社による水平・垂直共に0.2 mmの精度で位置調整をし直したのが7月の下旬であった.

結局地震の影響で2ヶ月, 第6加速管の交換とRF 枯らしで1ヶ月, セプタムコイルの修理で1ヶ月, 約4ヶ月間運休の状態が続いた. 第6加速管のRF 枯らしが終わった7月29日には, 電子リニアックの89.25 MHz グリッドパルスを働かせ $1\ \mu\text{s}$ パルス入射ビーム中のマイクロバンチ数を22から88に増やして35.4 mA 蓄積を達成した. 8月15日には113 mA を蓄積, 17日には蓄積速度96 mA/min を達成した. この時には入射電荷の8%~10% が蓄積されたことになる. 25日にはイオン・クリアリングの効果もあってまず10分で250 MeV-304 mA を蓄積できた. 次に5分で127 mA 蓄積し, 4分で1.4 GeV-100 mA

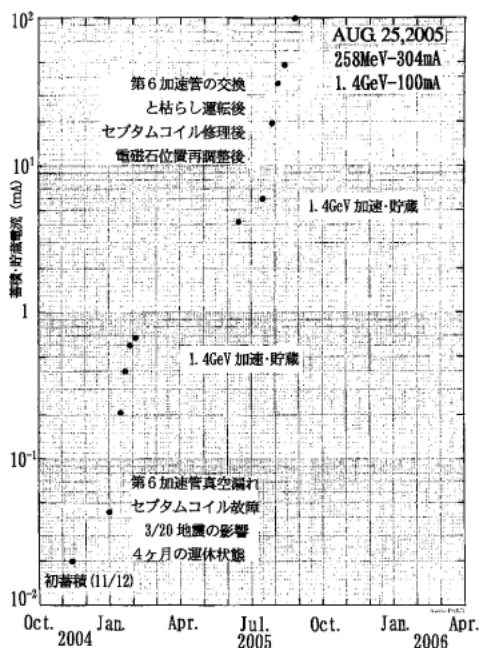


図7 2004年11月から2005年8月までの蓄積・貯蔵電流増加の様子

(1/2 寿命約 12 分) の加速・貯蔵に成功した。加速・貯蔵により真空圧は 2 桁近く増加した。

図7に2004年11月から2005年8月までの蓄積・貯蔵電流増加の様子を示した。図8に入射蓄積速度と加速貯蔵後の減衰パターンの一例を示す。図9には電流・1/2 寿命積 ($I \cdot \tau_{1/2}$) の放射光照射量依存性と電流寿命予測線を示した。

その後、設計チューン D (25 nm·rad) で大電流を蓄積できるようにチューンを変えて入射実験を続けている。現在 1.4 GeV-100 mA 貯蔵できるチューン A ($v_x = 4.28, v_y = 3.18$) の時には K1 と K4 の 2 キッカーで蓄積するが、チューン B ($v_x = 5.29, v_y = 2.30$), チューン C ($v_x = 5.69, v_y = 1.71$), 設計チューン D ($v_x = 5.796, v_y = 1.825$), チューン E ($v_x = 5.6, v_y = 3.1$) の時は 4 台のキッカーで蓄積している。最近では設計チューン D (25 nm·rad) でも 95 mA 蓄積できるようになったが、まだ加速時に落とす電流量が多く加速システムの改良に努めている。

5. おわりに

最後に装置を構成する部品は平成 13 年から 14 年にわたって国内外の三十数社の協力を得て 19 億 4 千万円の前算枠内で発注された。15 年から 16 年にわたって組立て調整が進められ、17 年 8 月に 1.4 GeV シンクロtron光源を一応完成することが出来ました。光源の建設から立上げ時には兵庫県立大学の安東愛之輔教授、産業技術総合研究所の豊川弘之主任研究員、安本正人主任研究員の御協力を得ました。またアルミ合金製真空槽のプリベークとフロントエンドの立上げでは岡島敏浩主任研究員の御協力を得ました。厚くお

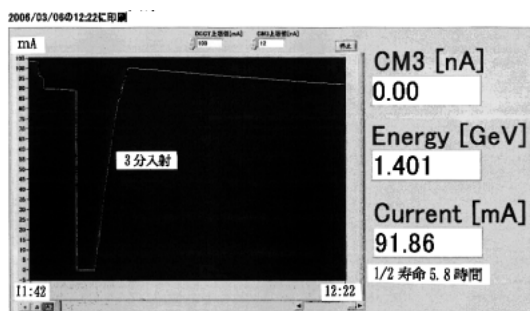


図8 入射蓄積時の電流増加パターンと蓄積後の加速・貯蔵時の減衰パターン

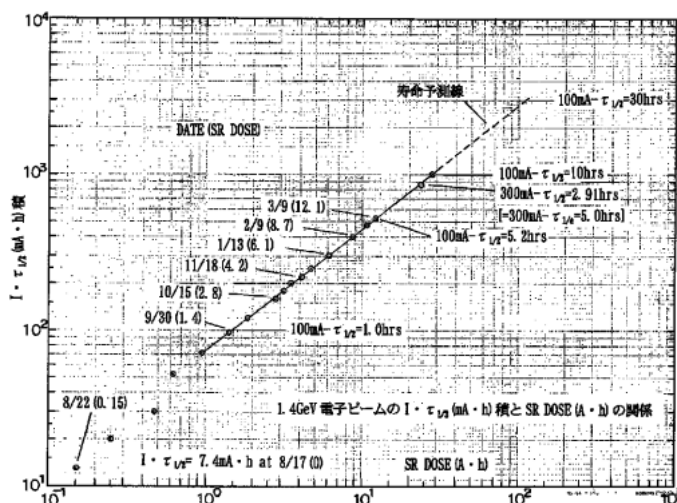


図9 1.4 GeV 電子ビームの $I \cdot \tau_{1/2}$ (mA·h) 積と SR DOSE (A·h) の関係と寿命予測線

礼を申し上げます。また日頃 御協力頂いている佐賀県庁はじめ九州シンクロトロン光研究センターと関係企業の皆様にも厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) S. Nakamura, M. Ohno, N. Awaji, A. Chiba, R. Kitano, H. Nishizawa, O. Asai, M. Takanaka, T. Iida, Y. Yamamoto, M. Shiota, M. Mizota, S. Kawazu, M. Kodaira, K. Kondou, T. Tomimasu, "PRESENT STATUS OF THE 1 GEV SYNCHROTRON RADIATION SOURCE AT SORTEC" Proc. of the 2nd European Particle Accel. Conf., Nice, June (1990) pp. 472-474.
- 2) 富増多喜夫: "佐賀シンクロトロン光源装置の概要" 加速器同好会通信, JARA News 第8号 (2001年10月) pp. 1-7.
- 3) Y. Iwasaki, S. Koda, T. Tomimasu, H. Ohgaki, H. Toyokawa, M. Yasumoto, Y. Yamatsu, T. Kitsuka, Y. Hashiguchi, Y. Ochiai, "LATTICE DESIGN OF SAGA SYNCHROTRON LIGHT SOURCE" Proc. of the PAC03, Portland, May (2000) pp. 3270-3272.
- 4) S. Koda, Y. Iwasaki, T. Okajima, H. Setoyama, Y. Takabayashi, T. Tomimasu, K. Yoshida, H. Ohgaki, M. Torikoshi, "FEASIBILITY STUDY ON INTRODUCING A SUPERCONDUCTING WIGGLER TO SAGA LIGHT SOURCE" Proc. of the PAC05, Knoxville, May (2005) pp. 1021-1023.
- 5) H. Ohgaki, Y. Iwasaki, S. Koda, Y. Takabayashi, T. Tomimasu, K. Yoshida, H. Toyokawa, "PC-Lab View Based Control System in SAGA-LS" Proc. of the PAC05, Knoxville, May (2005) pp. 3976-3978.
- 6) Y. Iwasaki, S. Koda, T. Okajima, H. Setoyama, Y. Takabayashi, T. Tomimasu, K. Yoshida, H. Ohgaki, "THE INJECTION SYSTEM OF THE SAGA LIGHT SOURCE" Proc. of the PAC05, Knoxville, May (2005) pp. 3007-3009.
- 7) S. Koda, Y. Iwasaki, K. Yoshida, Y. Takabayashi, T. Tomimasu, Y. Hirata, Y. Nobusada, T. Yoshiyuki, H. Suzuki, H. Ohgaki, "CONSTRUCTION OF RF SYSTEM FOR STORAGE RING AT SAGA-LS" 第1回日本加速器学会年会・第29回リニアック技術研究会報告集, 船橋, 日本大学 (2004) pp. 284-286.
- 8) T. Koseki, M. Izawa, and Y. Kamiya, Tech. Report of ISSP No. 2980 (May 1995) pp. 1-8.
- 9) H. Suzuki, T. Yoshiyuki, K. Sato, H. Kamikubo, Y. Hirata, Y. Nobusada, S. Koda, K. Yoshida, Y. Iwasaki, Y. Takabayashi, T. Tomimasu, H. Ohgaki, M. Izawa, T. Koseki, "HOM-damping of RF cavity for storage ring at SAGA-LS" 第1回日本加速器学会年会・第29回リニアック技術研究会報告集, 船橋, 日本大学 (2004) pp. 338-340.
- 10) Y. Takabayashi, T. Tomimasu, K. Yoshida, S. Koda, Y. Iwasaki, H. Ohgaki, "Beam position monitors at SAGA Light Source" 第1回日本加速器学会年会・第29回リニアック技術研究会報告集, 船橋, 日本大学 (2004) pp. 423-425.