

佐賀シンクロトロン光応用研究施設電子リニアック 2001 年(設計現状)

富增多喜夫^{1,A)}、安本正人^{B)}、岩崎能尊^{C)}、古賀信幸^{C)}、橋口泰史^{C)}、落合裕二^{C)}

A) 自由電子レーザー研究所兼佐賀県シンクロトロン光応用研究施設設計チームリーダー

〒554-0024 大阪市此花区島屋 1-1-3 住友電気工業株式会社気付

B) 産業技術総合研究所光技術研究部門

〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-4

C) 佐賀県経済部新産業課

〒840-8570 佐賀県佐賀市城内 1-1-59

概要

佐賀シンクロトロン光源の電子入射器である 250 MeV リニアックの設計現状と平成 13(2001)年からの部品発注の予定について述べる。電子リニアックの長さは高電圧入射部を含めて 28.5m、電子ビームのエネルギーとマクロパルス長は入射時 250 MeV で 1 μ s、入射時以外では 40 MeV で 13 μ s、自由電子レーザー発生などに使用できる。電子ビームは、FELI リニアックと同様に 0.6nC の数ピコ秒長マイクロパルスが 22.3125 MHz か 89.25 MHz で続く。ピーク電流は 40 MeV で 60A 以上、250 MeV で 130A 以上を期待している。

1. はじめに

佐賀県シンクロトロン光応用研究施設の建設は佐賀県と科学技術庁によって平成 10 年に認められ、平成 16 年度稼働を目指して施設の基本設計、実施設計が進められてきた。平成 12 年度から始まった実施設計にもとづき、13 年から 14 年にかけて鳥栖市の北部丘陵地区に約 3600 平方メートルの施設建屋が建設される。

佐賀シンクロトロン光源の建設は、部品発注、組立・調整運転方式で行なう方針が認められ、部品仕様の決定では実績があり確実に稼働する最高性能のものが選ばれている。13 年 11 月頃から光源リングや電子リニアックなどの部品や各種工事が発注され、14 年 12 月から佐賀シンクロトロン光源装置の組み立てが始まる。

平成 11 年度の基礎設計では、1GeV で周長 40m 程度の第二世代リングが候補として取り上げられた。しかし高輝度リングの有用性と九州地区の大学や産業界の長期活用に期待して、佐賀シンクロトロン光源として 1.4 GeV で周長 75.4 m、7.5 T ウィグラーなど 6 台の挿入光源を設置できる小型の高輝度リングを設計した^[1]。第三世代の高輝度リングとしては MAX-II (Sweden, Lund 大学)の 84%と小さく、世界最小規模での最小エミッタンス・リング (15 nm \cdot rad) を目指している。6 台の挿入光源のほかに電子入射部の直線部ではレーザーを入射し逆コンプトン散乱によって発生する準単色 γ 線^[2]を放射線検出器の校

正線源として活用することもできる。電子入射は予算の制約もあり、電総研で開発した電子リニアックによる低エネルギー入射蓄積・加速方式^[3]、入射器として 250 MeV 電子リニアックを用い、低エネルギー一部で二色(3.0~250 μ m)の赤外自由電子レーザー装置^[4]の設置も可能である。

2. 佐賀電子リニアック

電子リニアックの概略構成図を図 1 に、リニアックとビームの主要なパラメータを表 1 と 2 に示す。電子リニアック主要部の構成は FEL 研とほぼ同様で、長寿命 (千時間以上) の熱陰極電子銃からの 600 ps パルス長で 1.2 nC の電子バンチを、適切な集束系により低エミッタンスに保ちながら約 10 ps パルス長の 0.6 nC バンチに短バンチ化できる 6MeV バンチャー^[5]、13 μ s 長の出力平坦度が 0.1%以下のパルスマイクロ高周波源^[6]のほかに、電子入射時の高エネルギー加速が可能な 1 μ s 長の平坦度 0.3%以下のマクロパルス高周波源を備えている。13 μ s 長パルス・マイクロ波源には FEL 発生用に開発されたクライストロン E3729(13 μ s - 36 MW ; 24 μ s - 25MW)^[7]を、1 μ s パルス・マイクロ波源にはクライストロン E3712(4 μ s- 80 MW)を使用する。電子リニアックのビームは、数ピコ秒長にバンチ化された 0.6 nC バンチの列で、FEL 実験時にはクライストロン E3729 のみを運転するので 0.6 nC バンチの列が 22.3125MHz、又は 89.25 MHz で 13 μ s 続く。このマクロパルスが 1~10Hz で繰り返す。FELI リニアックでは 30 MeV で 60A を、144 MeV で 132A のピーク電流を実現している^[8]、40 MeV で 60A 以上、250 MeV で 130A 以上を期待している。

バンチャー(BU)へのマイクロ波を第 1 加速管と分け合うのではなく、第 2 加速管と分けるようにしたのは、BU へのパワー供給を変化した時の第 1 加速管への影響を少なくするためである。

リングへの電子入射はマクロパルス長 1 μ s の短パルス運転で、250 MeV 電子リニアックからのビームは数ピコ秒長にバンチ化された 0.6 nC バンチの列が 22.3125 MHz(44.8 ns 間隔)で 1 秒毎に 1 μ s 続く。

¹ E-mail: tomimasu@sweet.ocn.ne.jp

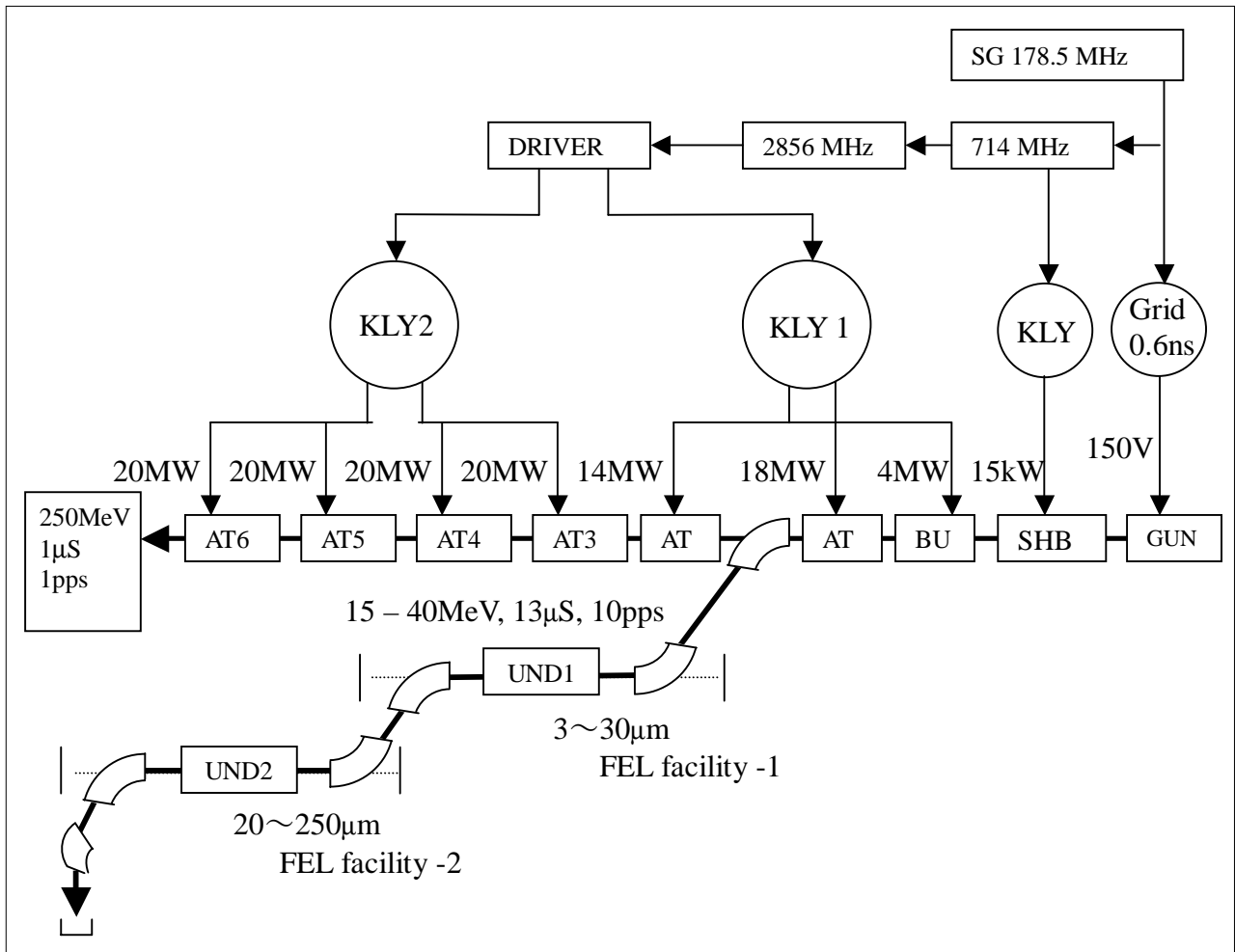


図 1 : 佐賀電子リニアック構成図

Gun	thermionic triode (EIMAC 646B)	Electron energy at injection	250 MeV
	injection energy 120 keV	Energy spread(FWHM)	0.5 %
	trigger pulse 150 V - 0.6 ns pulse	Peak current	130 A
	(89.25 MHz or 22.3125MHz)	Beam radius	0.5 mm
	micropulse charge 1.2 nC	Normalized emittance	25×10^{-6} m-rad
	micropulse separation 11.2 ns or 44.8ns	Micropulse charge	0.6 nC
	macropulse duration 13μs	Micropulse duration	4 ps
	repetition frequency 10 Hz	Micropulse separation	44.8 ns
Prebuncher	re-entrant type	Macropulse duration	~1μs
	frequency 714 MHz	Macropulse repetition frequency	1 Hz
	Q-value ~2000	Electron energy at FEL application	40 MeV
	Peak field 80 kV	Energy spread(FWHM)	~1 %
Buncher	standing wave type	Peak current	60 A
	frequency 2856 MHz	Beam radius	0.5 mm
	energy ~5 MeV for 2 MW rf	Normalized emittance	25×10^{-6} m-rad
	energy spread 100 keV (FWHM)	Micropulse charge	0.6 nC
Accelerating waveguide	travelling wave type	Micropulse duration	6 ps
	Length & number ~3 m x 6	Micropulse separation	11.2 ns
RF power at injection	36 MW + 80 MW	Macropulse duration	~13μs
RF power at application	36 MW FEL	Macropulse repetition frequency	10 Hz

表 1 : Main parameters of Saga linac

表 2 : Beam parameters of Saga linac

リングへの電子入射量は放射線遮蔽も考慮して毎秒約 12 nC (3W) 以下を予定している。

リニアックによるリングへの低エネルギー入射の例は、電総研(現産総研)での NIJI-I-IV, TERAS への 150 - 310MeV 入射の他に CAMD(レイジアナ)の 200MeV、LNLS(カンピーナス)の 170MeV (最近 120MeV から増強)がある。300mA 以上の蓄積電流を得るには最低 250MeV 程度の入射エネルギー必要とされている⁹⁾。

3. 電子リニアックの発注・組立調整予定

3.1 発注

- 14 年 2 月
リニアック入射器(電子銃、プリバンチャー、バンチャー)、加速管、架台、ビームモニター等の発注
- 14 年 3 月～4 月
各種温調冷却水源、配管工事、等の発注 RF 系部品、クライストロン、パルス変調器、グリッドバルサー等の発注リニアック真空系、電磁石系、ビーム制御系等の発注(リングの真空系、電磁石系、ビーム制御系と発注)各種電磁石配線工事、各種制御系配線工事、等の発注
- 14 年 4 月～5 月
リング入射系ビームライン発注

3.2 組立・調整

- 15 年 3 月
温調冷却水源、配管の組立・調整(局操)
- 15 年 4 月～5 月
リニアック入射器、加速管、架台、等の据付基準点設定
ビームモニターの位置合わせ
- 15 年 6 月～7 月
リニアック RF 部品、クライストロンとパルス変調器の組立・調整(遠操・局操)
リニアック真空槽の組立、真空立ち上げ
各種電磁石と架台の組立、位置合わせ
各種電磁石電源据付配線工事
インタロックを含む各種制御系配線工事
- 15 年 8 月～10 月
リニアック電子銃及び加速管のエイジング(遠操)

- 15 年 9 月～10 月
入射系ビームライン組立、真空立ち上げ、調整(遠操・局操)
- 15 年 11 月～
リニアック・ビーム加速テスト(遠操)
- 15 年 12 月～
リングへのビーム入射・ビーム蓄積(遠操)

設計段階における川崎重工業(株)、石川島播磨重工業(株)、三菱電機(株)、(株)東芝、日新電機(株)、日本高周波(株)、日本真空技術(株)、(株)トーキン、テクノ電気工業(株)、帝国電機(株)、東京電子(株)、工藤電機(株)、(株)岡崎製作所、多田電機(株)、パルス電子(株)、(株)佐電工、住友電気工業(株)、(株)日建設計、等の関係各位のご協力に感謝する。

参考文献

- [1] T. Tomimasu et al., "Saga synchrotron light source I (design study)". Abstract of the Asian Forum on Synchrotron Radiation (Hiroshima Univ., Jan. 14-16, 2001) 19-1~3.
- [2] H. Ohgaki et al., "Linearly polarized photons from Compton backscattering of laser light for nuclear resonance fluorescence experiments" Nucl. Instr. Meth. A353 (1994) 384-388.
- [3] H. Takada et al., "Effects of Increasing Injection Repetition Rate of Low-Energy Injection into a Compact Storage Ring". Jpn. J. Appl. Phys. 28, L1304 (1989).
- [4] A. Zako, et al., "Simultaneous two-color lasing in the mid-IR and far-IR region with two undulators and one RF linac at the FELI". Nucl. Instr. & Meth. A429 (1999) 136-140.
- [5] T. Tomimasu, et al., "Strong focusing system of FELI 6-MeV electron injector used for ultraviolet range FEL oscillation". Nucl. Instr. & Meth. A407 (1998) pp. 370-373.
- [6] E. Oshita, et al., "24-MW, 24- μ s PULSE POWER SUPPLY FOR LINAC-BASED FELs". IEEE Proceedings of PAC' 95, Dallas, May 1-5, 1995, pp. 1608-1610.
- [7] Y. Ohkubo, et al., "S-band Long Pulsed Klystron for the FELI Linac". Proceedings of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan (FELI, Osaka, Sept. 6-8, 1995) pp. 72-74.
- [8] T. Tomimasu et al., "Linac-based UV-FEL pacropulse shape and gain estimate". Nucl. Instr. Meth. A429 (1999) 141-145.
- [9] H. Saisho and H. Takada, "KANSAI MEDIUM-SCALE SYNCHROTRON RADIATION FACILITY". Proceedings of the International Symposium on Medium-Scale Synchrotron Radiation Facilities in Asia (Hiroshima Univ., July 5, 1990) pp.168-177.