

佐賀シンクロトロン光応用研究施設電子リニアック 2002 年(設計現状)

富増多喜夫^{1,A)}、岩崎能尊^{A)}、安本正人^{B)}、橋口泰史^{C)}、山津善直^{C)}、木塚俊博^{C)}、落合裕二^{C)}

^{A)} (財)佐賀県地域産業支援センター、

〒840 8570 佐賀県佐賀市城内 1 1 59 佐賀県経済部産業振興課

^{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 1 つくばセンター中央第 2

^{C)} 佐賀県 経済部 産業振興課

〒840 8570 佐賀県佐賀市城内 1 1 59

概要

佐賀 1.4GeV シンクロトロン光源(佐賀 SL)の入射器である 250MeV 電子リニアックの設計現状と平成 15(2003)年からの組立調整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 250MeV 以上で 1 μ s である。毎秒 1 パルス入射で、1 μ s パルス中のマイクロバンチ数は 22 (22.3125MHz、44.8ns 間隔)の多バンチ入射である。マイクロバンチ当たりのクーロン数は約 0.6nC の場合、毎秒約 13nC の電子が加速され、セプトム電磁石を通して入射される。リングの周長は 75.5m で 1 μ s パルスは 4 周分のビームに相当する。入射時以外での電子ビームのエネルギーとマクロパルス長は 40MeV で 12 μ s である。10H 運転が可能で自由電子レーザー発生などに利用できる。12 μ s パルス中のマイクロバンチ数は約 1070(89.25MHz、11.2ns 間隔)である。今回は限られた施設スペースで入射エネルギーを上げる方策とその得失についても述べる。

1. はじめに

佐賀県 SL 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礎設計、実施設計が進められてきた。平成 13 年から 14 年にかけて鳥栖市の北部丘陵地区に約 4200 平方メートルの施設建屋が建設されている。

佐賀 SL 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。14 年 4 月から各種部品の発注が始められ、15 年 3 月から佐賀 SL の組立が始まる。

平成 11 年度の基礎設計では、1GeV で周長 40m 程度の第 2 世代リングが候補として取り上げられた。しかし高輝度光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、1.4GeV で周長 75m、ウイグラーなど 6 台の挿入光源を設置できる最小規模の第 3 世代高輝度光リングを設計した^[1]。

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電子ビームに正面衝突させ、逆コンプトン散乱によって発生する準単色線^[2]を放射線検出器の校正線源として活用することも可能である。

リニアックによる 1GeV 以下のリングへの低エネルギー入射例としては電総研(現産総研)での NIJI-I ~IV、TERAS への 150~310MeV 入射のほか、1.5GeV 級への低エネルギー入射例としては、ブラジル・カンピーナスの 170MeV 入射(最近 120MeV から増強)の 1.4GeV リング^[3]、米国ルイジアナ・CAMD の 200MeV 入射の 1.5GeV リング^[4]がある。300mA 以上の蓄積電流を得るには 250MeV 程度の入射エネルギーが必要とされている^[5]。

佐賀 SL の場合、スペースと予算の制約があり、250MeV 電子リニアックによる低エネルギー入射蓄積・加速方式^[6]を採用する。将来の入射器活用の一つとして低エネルギー部の 28~36MeV 電子ビームを用いて二色(4~10 μ m、8~20 μ m)の赤外自由電子レーザー装置^[7]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 と表 2 に示す。電子リニアックの主要部の構成は FEL 研とほぼ同じで、長寿命(千時間以上)の熱陰極電子銃からの 600ps パルス長で 1.2nC の電子バンチを適切な集束レンズ系により低エミッタンスを保ちながら約 10ps パルスで 0.6nC バンチに短バンチ化できる 6MeV バンチャー^[8]、12 μ s 長で出力平坦度 0.1% 以下の 2856MHz パルス高周波源^[9]の他に電子入射時に高加速が可能な 1 μ s 長で出力平坦度 0.2% 以下の 2856MHz ほぼ高周波源を備えている。1 μ s パルス高周波源にはクライストロン E3712(2 μ s 88MW、4 μ s - 80MW)を使用する。

¹E-mail : tomimasu@mb.infosaga.or.jp <http://www.infosaga.or.jp/synchrotron/index.htm>

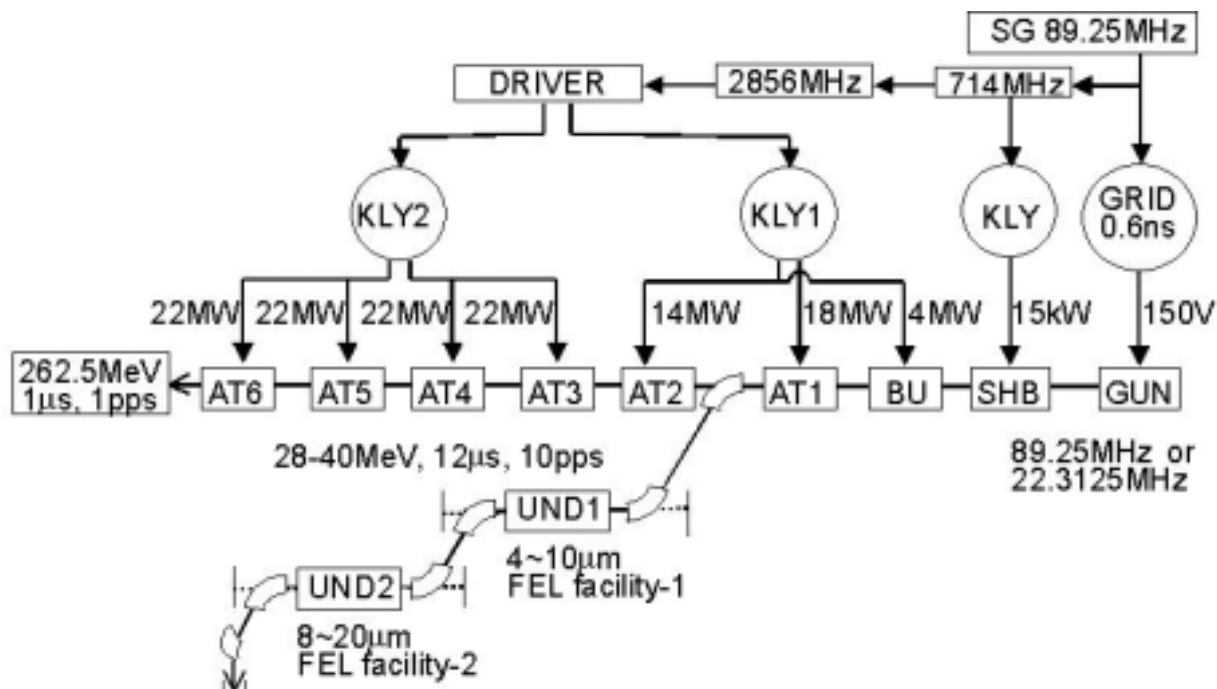


図 1 . 佐賀電子リニアック構成図

表 1 . Main paramaters of Saga linac

Gun	Thermionic triode (EIMAC 646B)
Injection energy	120keV
Trigger pulse	150V-0.6ns pulse (89.25 MHz or 22.3125 MHz)
micropulse charge	1.2 nC
micropulse separation	11.2 ns or 44.8 ns
macropulse duration	12 μ s
repetition rate	10Hz
Prebuncher	Re-entrant type
Frequency	714MHz
Q-value	~2000
Peak field	80kV
Buncher	Standing wave type
Frequency	2856MHz
Energy	~5MeV for 1MW rf
Energy spread	100keV(FWHM)
Accelerating waveguide	Travelling wave type
Length & number	2.9298m x 6
RF power at injection	36MW + 88MW
at application	36MW

表 2. Beam parameters of Saga linac

Electron energy at injection	250MeV
Energy spread (FWHM)	0.5%
Peak current	130A
Beam radius	0.5mm
Normalized emittance	25x 10 ⁻⁶ m-rad
Micropulse charge	0.6nC
Micropulse duration	4ps
Micropulse separation	44.8ns
Macropulse duration	~1 μ s
Macropulse repetition rate	1Hz
Electron energy at FEL application	~40MeV
Energy spread (FWHM)	~1%
Peak current	60A
Beam radius	0.5mm
Normalized emittance	25x 10 ⁻⁶ m-rad
Micropulse charge	0.6nC
Micropulse duration	6ps
Micropulse separation	11.2ns
Macropulse duration	12 μ s
Macropulse repetition rate	10Hz

電子リニアックの進行波型加速管は約 3m 長で filling time は約 $1\mu\text{s}$ である。従ってマクロパルス長 $1\mu\text{s}$ の電子ビームを加速するには加速管に $2\mu\text{s}$ 長の高周波が必要で、E3712 の出力として $2\mu\text{s}$ 88MW を選んでいる。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) の多バンチ入射である。パルス長を $4\mu\text{s}$ から $2\mu\text{s}$ にすることで、高周波出力が 80MW から 88MW に 10% 増加できるので、コスト増なしで電子エネルギーは 5%、即ち 12.5MeV 増加し 262.5MeV となる。

電子リニアックのエネルギー増強に SLED (SLAC Energy Doubler) を採用することも検討している。この場合、E3712 の出力として $4\mu\text{s}$ - 80MW を選ぶと、 $2\mu\text{s}$ 160MW 近くの約 2 倍の高周波出力得られるので図 1 に示された AT3~AT6 の 4 本の加速管に 160MW を供給すれば高周波入力は約 2 倍になるので、4 本の加速エネルギーが 180MeV の場合電子エネルギーは 72MeV 増加し、322MeV となる。しかし、160MW の合成出力波形は中国桂林地方の山形状であり、電子エネルギーを揃えるために高周波出力を 0.2% 程度に揃えらるとなると毎秒 2 バンチ入射にせざるをえないし、コスト増も大きい。

22 バンチ入射を 2 バンチにするのなら、ビームを AT2~AT6 の 5 本の加速管(全長で約 20m)で 2 度加速する方法も検討に値する。44.8 ns 間隔の 2 バンチ加速が可能なので、5 本の加速エネルギーが 210MeV であれば 210MeV 増加し全加速エネルギーは 460MeV となる。コスト増よりも調整時間が必要になる。

3. 電子リニアックの発注・組立調整予定

3.1. 発注

14 年 8 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 9 月

各種温調冷却水装置、配管工事、RF 系部品、クライストロン、パルス変調器、グリッドパルサー、リニアック真空系、電磁石、電磁石電源、ビーム制御系、

14 年 10 月以降

各種配線工事

3.2. 組立・調整

15 年 3 月~5 月

リング電磁石架台据付、基準点設定

15 年 4 月~6 月

温調冷却水装置、配管据付

15 年 7 月~8 月

リニアック入射器、加速管、架台、等の据付
基準点設定、ビームモニター位置合せ

15 年 9 月~10 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 (局操、遠操)

リニアック真空槽の組立、真空上げ

各種電磁石と架台の組立、位置合せ

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 11 月~12 月

リニアック電子銃及び加速管のエイジング (遠操)

16 年 1 月~2 月

リニアック・ビーム加速テスト(遠操)

16 年 3 月~

リングへのビーム入射・ビーム蓄積(遠操)

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] R. H. A. Farias et al., "MAGNETIC DESIGN OF THE LNLS TRANSPOT LINE", IEEE Proceedings of PAC'95, Dallas, May 1-5, 1995, pp. 1361-1363.
- [4] R. L. Stockbauer et al., "A NEW SYNCHROTON LIGHT SOURCE AT LOUISIANA STATE UNIVERSITY'S CENTER FOR ADVANCED MICROSTRUCTURES AND DEVICES", Nucl. Instr. Meth. A291 (1990) 505-510.
- [5] 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.
- [6] 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).
- [7] M. Yasumoto et al., "Two-color IR-FEL facility for semiconductor and bio-medical applications at Saga synchrotron light source", to be published in proceedings of the international symposium on the infrared free electron laser and its application, Noda, Jan 31-Feb.2 2002.
- [8] 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.
- [9] E. Oshita et al., "24-MW, 24 μs PULSE POWER SUPPLY FOR LINAC-BASED FELs", IEEE Proceedings of PAC'95, Dallas, May 1-5, 1995, pp. 1608-1610.