

Tohoku University Linac Center Project

Masayuki OYAMADA and Working Group^{ABC}

^ALaboratory of Nuclear Science, Tohoku University, Mikamine Taihaku-ku, Sendai 982, Japan

^BNational Laboratory for High Energy Physics, Oho, Tsukuba 305, Japan

^CInstitute for Molecular Science, Myodaiji, Okazaki 444, Japan

Abstract

The Tohoku University Linac Center Project has been proposed. The existing linac will be improved by adding two klystrons, replacing with new designed accelerating structures, and using a recirculation system. The maximum energy and stored current are expected to be 1 GeV and 400 mA.

1.5 GeV dedicated storage ring will be built, and a lot of beam lines from bending magnets and various insertion devices are utilized. Injection to the ring is done at full energy for reliable operation.

Electrons from the linac are accelerated in the booster ring up to 1.5 GeV and injected into the storage ring. This ring has another features, a pulse stretcher ring which delivers continuous beam to nuclear experiments, and a storage ring for the internal target experiment.

東北大学電子ライナック研究センター計画

1. はじめに

東北大学 300 MeV 電子ライナックが 1967 年に完成し今年は満 25 年に当たる。次期加速器計画は満 10 年目頃から検討し連続電子線加速器としてライナックとストレッチャーの組合せを選択した。¹⁾ この頃の計画は核物理を最大の柱とし、エネルギーは最大 2 GeV を越えるものも計画した。^{2),3),4)}

その後学内で放射光リングに対する要求が高まり、新たに核物理と放射光を対等な太い柱とする計画に練り直した。⁵⁾ 予算総額を抑えるために一つのリングにストレッチャーと放射光リングの両方の機能を持たせ、マシンタイムを半々にする共用リング計画である。

この計画で建物等の詳細見積を行ったところ、リングの周りの広い放射光実験室をシールドの厚い地下構造にすることはコスト的に不利であることが分かった。最終案は放射光リングをストレッチャーから独立した専用リングとし地上に配置し、ストレッチャーは建屋面積を狭くして地下に配置した。^{6),7)} この事により建築費の節減と放射光、原子核のマシンタイムをそれぞれ 100% に近付ける事が出来た。加速器、実験室の配置を Fig. 1. に示す。

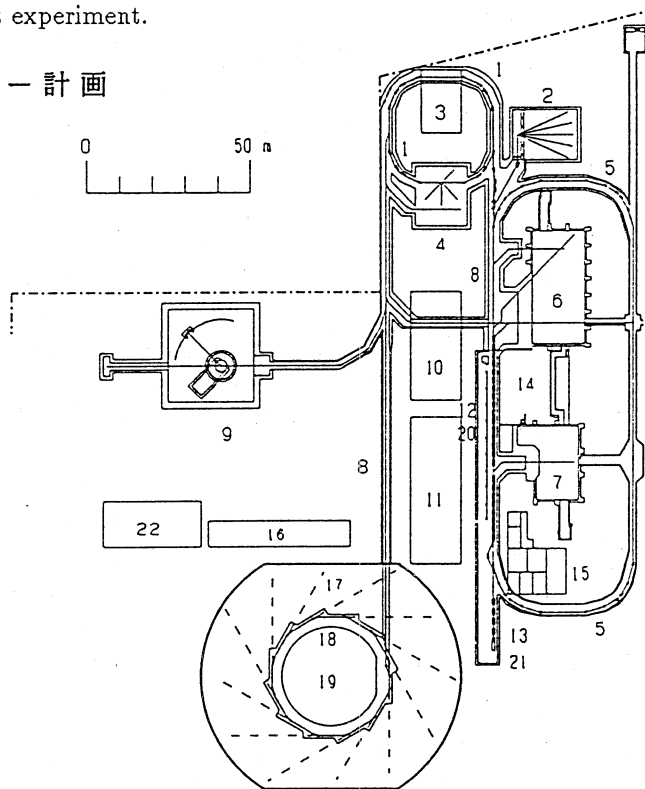


Fig. 1. General layout of the Tohoku University Linac Center Project.

- 1 : Stretcher-Booster Ring. 2 : Neutron Scattering Facility. 3 : Power supply room for electromagnets. 4 : Internal Target Experimental hall. 5 : Recirculator. 6 : Second Experimental hall. 7 : First Experimental hall. 8 : Beam Transport System. 9 : Third Experimental hall. 10 : First Utility Building. 11 : Control Building. 12 : Main Linac. 13 : Injector linac. 14 : Second Utility Building. 15 : Radio Isotope Laboratory. 16 : Laboratory. 17 : Synchrotron Radiation Experimental Hall. 18 : Storage Ring. 19 : Third Utility Building. 20 : Klystron Gallery for Main Linac. 21 : Klystron Gallery for Injector Linac. 22 : Central Laboratory.

2. 電子ライナック

電子ライナックの改造のポイントはクライストロンを現在の5本から7本に増やし、加速管の全てを2mの新型加速管の交換する事である。リサーキュレータを使わないときの最高エネルギーは550 MeVで、リサーキュレータを使ってエネルギーを上げれば最高1030 MeVまで加速することが出来る。

リサーキュレータの周長は主ライナックを含めて丁度300 mなので、ビームパルス幅は1 μsec にしてhead-to-tail方式で加速する。リサーキュレータを使わないときは2 μsec に広げることが出来るので、平均電流を倍に上げられる。新しいライナックのパラメータをTable 1. に示す。

3. 放射光リング

専用放射光リングとして最適設計を行った。⁸⁾ ラティスはEDBA(Extended Double Bend Achromat)で、正12角形とした。この形は直線部が多く取れ、入射部とRF加速部の他に多くの挿入光源が予定されている。電子の入射は1.5 GeVのフルエネルギーで行うので、入射時間の短縮と安定な運転が期待される。蓄積電流は最大400 mAで、寿命は12時間以上、日に2回の入射を行う。エミッタンスは $83.5 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ と中庸な値で使いやすさを狙った。放射光リングのパラメータをTable 2. に示した。

4. ストレッチャー・ブースタリング

ストレッチャー・ブースタリングは3つの機能を持っている。^{7),9)} 1番目は放射光リングにフルエネルギー入射するためのブースタ機能。電子ライナックからの500 MeVないし1 GeVの電子を1.5 GeVまでブースタシンクロトロンとして加速する。

2番目の機能はパルスの電子を直流に直すストレッチャーである。この場合の加速周波数は電子ライナックの加速周波数とおなじ2856 MHzを用いる。この加速空洞の試作・テストを現有の小型ストレッチャー(SSTR)を用いて行っている。

3番目の機能はこのリング自体が蓄積リングとして運転することが出来る。電子ライナックから入射した電子を必要なエネルギーまで加速し、そのエネルギー

Table 1. Electron Linac Parameters

Accelerating structure	(Traveling wave)
RF frequency	2856 MHz
Quasi-constant gradient	$2\pi/3$ mode
Shunt impedance	73 $M\Omega/m$
Effective length	2.0 m
Number of structures	29
(main acceleration	24)
(injector	4)
(energy compression system	1)
Number of klystrons	7
Typical operation	
Pulse repetition rate	300 pps
Energy gain (@ 100 mA peak)	20 MeV/structure
RF input	4.5 MW/structure
Klystron	
Peak power	30 MW
Average power	36 kW
RF pulse duration	3.0 μsec
Electron beam with (without)	recirculation.
Energy	1.0 (0.53) GeV
Peak current	100 mA
Beam pulse width	1.0 (2.0) μsec
Average current	30 (60) μA
Energy spread with ECS	0.1 %

Table 2. Storage Ring Parameters

Electron energy	1.5 GeV
Circumference	115.256 m
(average radius	18.343 m)
Straight section	
whole/for insertion device	9.654/4.5 m
Number of bending magnets	12
bending radius	4 m
field strength	1.251 T
Quadrupole magnet	48
Sextupole magnet	36
Injection energy	1.5 GeV
Injection Method	one turn injection
Injection repetition rate	max 0.2 pps
RF frequency	476 MHz
Harmonic number	183
Klystron	100 kW \times 1
Storage current	400 mA
Betatron frequency	
ν_x/ν_y	5.39/3.72
Beam size (bending)	
σ_x/σ_y	0.299/0.705 mm
Beam size (straight)	
σ_x/σ_y	1.064/0.349 mm
Beam divergence (bending)	
H/V	0.357/0.059 mrad
Beam divergence (straight)	
H/V	0.079/0.120 mrad
Emittance	83.5 $\text{nm} \cdot \text{rad}$
Momentum compaction factor	0.0098
Energy spread	0.064 %
Bunch length (2σ)	19.1 mm (127 psec)
Revolution frequency	2.601 MHz (time 384 nsec)
Beam life time	12 hours

を保持することが出来る。この機能は内部ターゲットを用いた原子核実験に利用される。利用できるターゲットをできるだけ厚いものまで可能とするため、シンクロトロン加速の周期を1秒まで短くした。例えば測定中の電子の寿命が1秒と短い場合にも、加速に1秒、測定に1秒となるのでデューティーサイクルが50%となり、実験可能である。Table 3. にパラメータを示した。

5. おわりに

電子ライナックは通常繰り返し数 300 pps で運転を行う。放射光リングへの入射は日に2回程度、それぞれ30分以内と見込まれている。それ以外の時間はストレッチャー・ブースタリングは原子核実験のために利用され、その中で内部ターゲット実験の割合が大きくなると考えられている。

ストレッチャーとして運転する時以外は電子ライナックからのビームパルスはすべてリングに入射する必要が無いので、我々の計画では 100 pps をパルス中性子散乱 (ND) に、残りを R I 製造に割り振ることが出来る。

このように電子ライナックをフル稼働することにより4種類の実験が同時進行するのがこの計画の大きな特徴になっている。

参考文献

1. Y. Torizuka, Proc. 2nd Symp. on Acc. Sci. and Tech., Tokyo, 277(1978).
2. T. Tamae, Proc. 3rd Symp. on Acc. Sci. and Tech., Osaka, 343(1980).
3. M. Sugawara, Proc. 4th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Saitama, 283(1982).
4. M. Sugawara, Proc. 5th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Tsukuba, 406(1984).
5. M. Sugawara, Proc. 6th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Tokyo, 307(1987).
6. 電子ライナック研究センター 放射光リング、ストレッチャー・ブースタリング計画、東北大学、平成3年6月。
7. M. Oyamada and Working Group, Proc. 8th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Saitama, 453(1991).
8. 中型放射光施設計画に関する調査報告書(東北大学電子ライナック研究センター)、放射光学会誌、4, 257(1991).
9. T. Tamae, T. Eguchi, T. Nakazato, R. Kato and O. Konno, Proc. 8th Symp. on Acc. Sci. and Tech., Saitama, 462(1991).

Table 3. Stretcher-Booster Ring Parameters

Circumference	115.256 m
(average radius)	18.343 m)
Straight section for internal target	5.23 m
Bending magnet	16
bending radius	4 m
edge angle	11.25°
Quadrupole magnet	44
Sextupole magnet	16
(Booster-internal target mode)	
Injection energy	1 GeV
Extraction and stored energy	1.5 GeV
Betatron frequency ν_x/ν_y	5.25/5.175
RF frequency	476 MHz
Harmonic number	183
Klystron	100 kW × 1
Stored current	400 mA
Beam loading	44.8 kW @1.5 GeV
Emittance	403 nm · rad
Energy spread	0.064 % @1.5 GeV
Damping time	5.15 msec @1.5 GeV
Extraction	fast (booster mode)
Repetition frequency	max 1 pps
Dilatation factor	0.0469
(Stretcher mode)	
Energy	max 1 GeV
Repetition frequency	300 pps
Duty factor	90 %
RF frequency	2856 MHz
Harmonic number	1098
Klystron	50 kW × 1
*monochromatic extraction	
Betatron frequency ν_x/ν_y	5.46/5.20
Injection	two-turn injection
Extraction	half-integer resonance
Extracted current	20 μ A
Energy spread	0.014 %
*achromatic extraction	
Betatron frequency ν_x/ν_y	5.325/5.20
Injection	three-turn injection
Extraction	third-integer resonance
Extracted current	30 μ A
Emittance	0.06 mm · mr
Energy spread	0.1 %