

The Tohoku University Stretcher-Booster Ring

M. Oyamada and STB Group¹

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai 982, JAPAN

Abstract

Tohoku University Stretcher-Booster Ring project was approved this year and will be completed in 1997. This ring plays three roles: the pulse beam stretcher, the booster and the storage ring for the internal target nuclear experiment. Its maximum energy is 300 MeV as the stretcher and 1.2 GeV as the booster and the storage ring.

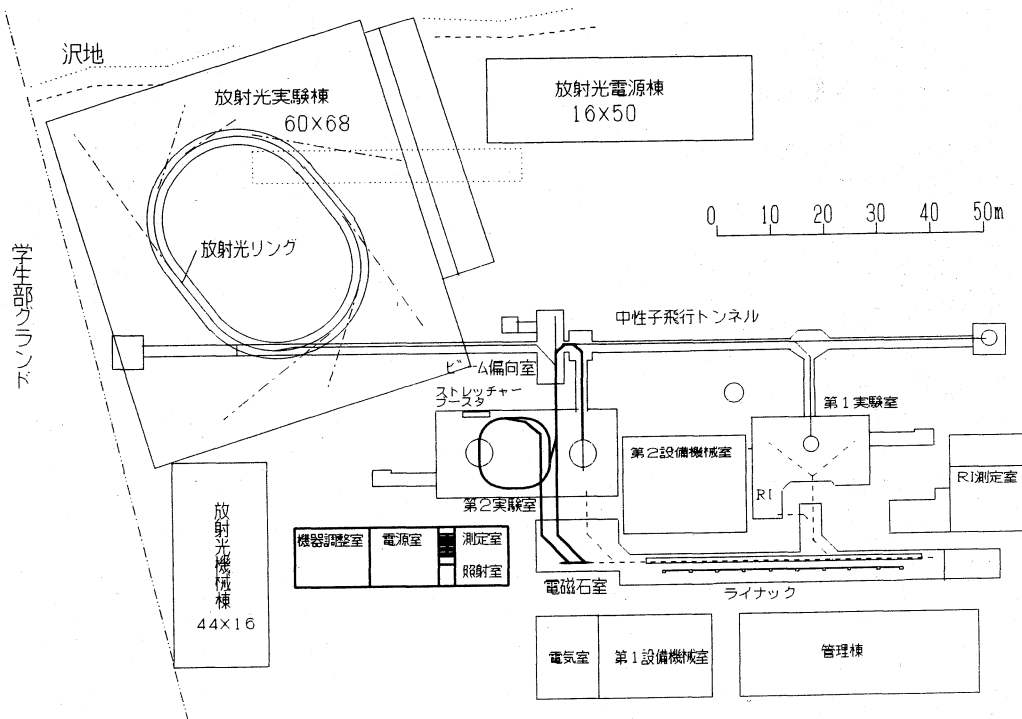
東北大学ストレッチャー・ブースタリング

1. はじめに

パルス型電子リニアックは高エネルギーの電子を供給する加速器として非常に優れており、原子核の研究に果たした役割は計り知れない。しかしながら近年の精密な原子核の実験には同時計数の手法の採用は必須となり、世界的に連続電子線の重要性がますます認識されるようになった。東北大学原子核理学研究施設(核理研)ではいち早く連続電子線加速器の検討を始め、1978年に、将来の加速器計画としてパルスリニアック+ストレッチャー方式を提唱した。[1] 1980年にはこの方式の有効性を実証するため、テスト・スト

レッチャー・リング (SSTR、150 MeV) の建設を発表し、[2] 1982年に世界で初めて完成させた。[3] その後現在まで、実際にこのストレッチャー・リングを用いて原子核の同時計数実験を行い、成果を上げている。このSSTRをきっかけに、世界のパルスリニアックを保有する研究所の連続電子線加速器計画は全てリニアック+ストレッチャー・リングを採用した。核理研ではこの実績に基づいて次期の加速器を概算要求していたが、[4] [5] [6] [7] [8] この度幸いにも95年、96年の2カ年にわたって建設予算が認められた。

Fig. 1. 東北大学放射光リング、ストレッチャー・ブースタリング計画



¹Tohoku University, Miyagi National College of Technology, KEK and Institute for Molecular Science

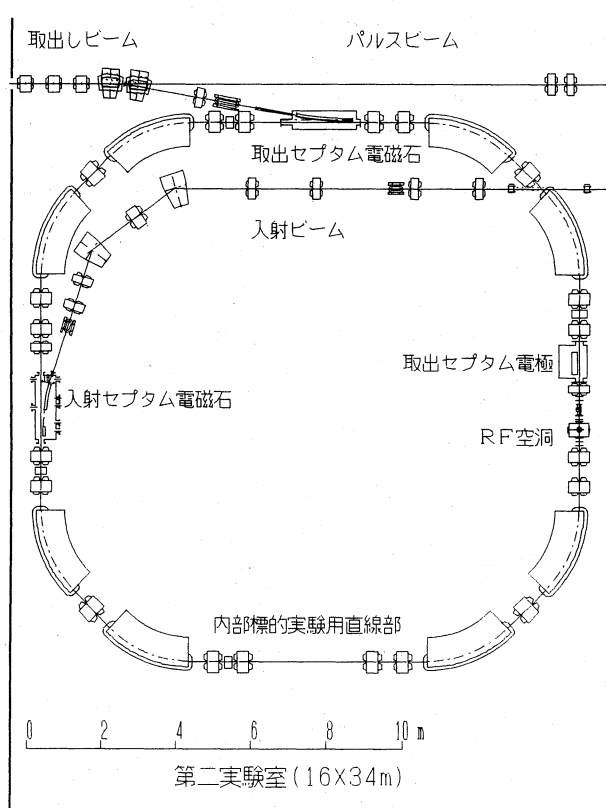
2. ストレッチャー・ブースタリングの概要

ストレッチャーリングのエネルギーの限界は電子を入射するリニアックの性能に依存する。現在の 300 MeV リニアックでは原理的にそれ以上のエネルギーの連続電子線は望めない。そこで我々はリングにパルス電子を入射後加速し、高いエネルギーで保持し内部標的を用いることで、連続電子線と等価な実験を行うことを考え考えた。これがストレッチャー・ブースタリングを採用した理由である。更にこのリングは、東北大学でも建設の要望の強い、放射光リング (1.5 GeV) の入射器としても利用することが出来る。[9] 今回の予算ではリング建屋は認められなかったため、リングは現有の第二実験室 (16 m × 34 m) 内に建設する。そのためリングの周長、直線部の長さ、偏向電磁石の最高磁場等を勘案してブースタとしての最高エネルギーを 1.2 GeV に決定した。Fig. 1 に放射光計画を含んだ全体計画を示す。今回建設予算が認められたのは図中太線で示した部分である。

3. ストレッチャー・ブースタリングの構成

このリングのラティスは Fig. 2 に示すように 4 回対称の DBA(Double Bend Achromat) である。4 本の直線部は、入射、取出し、RF 加速、内部標的の実験を

Fig. 2. ストレッチャー・ブースタリング概略図



考慮してエネルギー分散を 0 にしてある。リングを構成する偏向電磁石 (8 台)、四極電磁石 (20 台) は、300 MeV から 1.2 GeV まで 0.4 秒で加速するので、0.5 mm 厚の珪素鋼板を用いた積層型にしてある。入射は 3 回転入射方式で 3 台のキッカー電磁石を用いて内側から入射する。入射セプタム電磁石は短いパルス電磁石と長い直流電磁石を組み合わせる。ストレッチャーモードでの遅い取出しはセプタム電極で切出し、ベータートロン振動の振幅が大きくなったところで直流セプタム電磁石で取出す。一方ブースタモードでは、早い取出しは 1 台のキッカー電磁石を用い、遅い取出しは薄い標的によって散乱されて振幅が大きくなった電子を、セプタム電磁石で取出す。この取出し用セプタム電磁石は直流で 1.2 GeV 対応にしてある。高いエネルギーでの遅い取出しビームは強度は得られないが、検出器の校正などの需要を満たす。

Table 1. Parameters of the STB.

Machine Parameters

Circumference	49.7512 m
Lattice type	DBA
Super Period	4
Betatron Tune	$\nu_x=3.30$ $\nu_y=1.20$
Momentum Compaction Factor	$\alpha=0.037767$

Chromaticity	$\xi_x=-5.7861$ $\xi_y=-4.9791$
RF Frequency	500.1/2856.24 MHz

Beam Parameters

Stretcher mode

Energy	300 MeV
Energy loss per Rev.	$U_0 = 2.39 \times 10^{-4} \text{ MeV}$
Energy Width	$\Delta E/E = 1.209 \times 10^{-4}$
Damping time	$\tau_x = 7.921 \times 10^{-1} \text{ sec}$ $\tau_y = 7.131 \times 10^{-1} \text{ sec}$ $\tau_s = 3.396 \times 10^{-1} \text{ sec}$
Emittance	$\epsilon_x = 8.585 \times 10^{-9} \text{ m rad}$

Booster mode

Energy	1.2 GeV
Energy loss per Rev.	$U_0 = 6.11 \times 10^{-2} \text{ MeV}$
Energy Width	$\Delta E/E = 5.8 \times 10^{-4}$
Damping time	$\tau_x = 7.23 \times 10^{-4} \text{ sec}$ $\tau_y = 6.51 \times 10^{-4} \text{ sec}$ $\tau_s = 3.10 \times 10^{-4} \text{ sec}$
Emittance	$\epsilon_x = 1.717 \times 10^{-7} \text{ m rad}$

4. RF システム

このリングは 2 つの RF システムを備えている。ブースタモードでの加速は大電力を必要とするので、リニアックの加速周波数のハーモニクスを放棄し、国内他研究機関の経験を踏まえ、500.1 MHz を選んだ。他方ストレッチャーモードでは、250 MeV 以下のエネルギーでは入射の繰り返し時間間隔 0.33 msec に対する

Table 2. A quarter lattice of the STB.

Configuration

O1—QF—O2—QD—O2—BM—O2—QC
—O2—BM—O2—QD—O2—QF—O1

Drift space

O1 1.5625 m
O2 0.5000 m

Bending Magnet

Bending angle 10°
Bending Radius 3 m
Length 2.355 m
Edge Angle 0°

Quadrupole Magnet

Length QF=QD=0.3 m
QC=0.4 m
Bore Radius R=0.05 m
Focus(horizontal) QF K=2.0617 m⁻²
QC K=2.737 m⁻²
Defocus(horizontal) QD K=-2.2287 m⁻²

Table 3. Parameters of the RF system.

	Booster Mode	Stretcher Mode
Maximum Energy	1.2 GeV	300 MeV
Maximum Current	300 mA	300 mA
RF Frequency	500.1 MHz	2856.24 MHz
Harmonic Number	83	474
Shunt impedance	5 MΩ	0.25 MΩ
Over-voltage Factor	6.0	12
Acceleration Voltage	367 kV	2.87 kV
Quantum Lifetime	38 hours	
Synchronous Phase	80.4°	85.2°
Synchrotron Frequency	59.5 kHz	197 kHz
Klystron Output	100 kW	500 W
Wall loss	27 kW	32.9 W
Number of Cavities	1	1

放射損失が小さく、単一エネルギー取出し法と相俟って RF 加速の必要がない。それ以上のエネルギーでは放射損失のため、デューティーファクターが急速に低下するので、やはり RF 加速が必要である。入射されたビームを取りこぼし無く蓄積するため、周波数をリニアックと同じ 2856 MHz を選んだ。さらに蓄積電流が 0.33 msec 周期で 300 mA から 0 mA の間で変化するが、この条件でも加速電界と位相の変動が少なくなるよう、加速空洞のシャントインピーダンスを非常に低くし、結合定数を非常に大きく ($\beta=15$) なるように設計・試作し、実際に SSTR に組み込んで加速テストを行い空洞がうまく働くことを確かめた。[10] RF システムのパラメータを Table 3 に示す。

5. おわりに

新しいストレッチャー・ブースタリングの建設のために、ビーム分析系の再構築が必要になり、しばらく第

二実験室にビームを出せない状態になるが、それに先立ち、現在のリニアックのエネルギー性能やエミッタンスの測定を行ったので、本研究会で報告を行う。[12] [11] 最新鋭の連続電子線加速器の完成によって、これまで困難であった、中間エネルギー核物理学の研究が大いに発展し、さらに放射光リングの実現に向け、明るい展望が開けること期待する。

References

- [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] T. Tamae et al., Nucl. Instr. & Meth. A264, 173(1988).
- [4] M. Sugawara, Proc. 4th Symp. on Acc. Sci. and Tech. Saitama, 287(1982).
- [5] M. Sugawara, Proc. 5th Symp. on Acc. Sci. and Tech. Tsukuba, 406(1984).
- [6] M. Sugawara, Proc. 6th Symp. on Acc. Sci. and Tech. Tokyo, 307(1987).
- [7] M. Oyamada, Proc. 8th Symp. on Acc. Sci. and Tech. Saitama, 453(1991).
- [8] M. Oyamada, Proc. 9th Symp. on Acc. Sci. and Tech. Tsukuba, 486(1993).
- [9] 山川達也他、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、(1994).
- [10] 中里俊晴他、日本物理学会第 48 回年会予稿集、仙台、(1993).
- [11] 渡辺賢介他、本研究会、大阪、(1995).
- [12] 雪島正敏他、本研究会、大阪、(1995).