

The JLC Project and The ATF Project

Seishi Takeda & JLC Study Group

National Laboratory for High Energy Physics
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Abstract

The JLC(Japan Linear Collider) project is a future plan of KEK to pursue the energy frontier physics in TeV region with an electron-positron colliding machine. As the linear collider is a large-scaled accelerator, it is highly required to construct a test accelerator capable of testing the major accelerator components of JLC. KEK has proposed to build the Test Accelerator Facility (ATF) which consists of a 1.54 GeV S-band linac, 1.54 GeV damping ring, 1.0 GeV X-band linac, 1.54 GeV bunch compressor, 1.54 GeV FFTB(Final Focus Test Beam) system, 1.54 GeV positron target.

JLC 計画の概要

電子・陽電子衝突型リング加速器では、放射光損失による電力増加を避けるには、リングサイズを大型化するしかない。300 GeV 以上の重心系エネルギーをリング加速器でめざすとき、リング周長は 100 km 以上に達し非現実的である。そのため、LEP-II (95 + 95 GeV)が最後の電子・陽電子衝突型リング加速器になると言われている。一方、リニアコライダー(電子・陽電子衝突型線形加速器)は対向した 2 台の主リニアックから構成されており、電子と陽電子のバンチを直線上で加速し、それぞれ正面衝突させるために放射光損失はない。そのため、原理的にはエネルギーの限度はないが、リニアック全長を短くするために、従来より 1 桁高い 100 MeV/m 以上の加速勾配が必要とされ、また高いリミノシティを得るために、衝突点においてビームを nm ~ サブ μm まで絞り込む必要がある。JLC(Japan Linear Collider)計画で目標とするエネルギーは、現在のところ重心系で 1 TeV であるが、将来のエネルギー増強にも、リニアコライダーは有利である。衝突点でのビームの特性は表 1 に示す。

第 1 図に JLC の構成を示す。RF-Gun、並びに熱陰極グリッド付電子銃又は偏極電子銃に SHB

Systemを付加したシステムで電子又は偏極電子のマルチバンチを 1 秒間に 200 pps の繰り返して発生する。マルチバンチは、1 パルス内に 1.4 ns (S-bandで 4 波長、11.4 GHz で 16 波長)のバンチ間隔を有する 10 個のバンチから構成されている。マルチバンチは、S-band リニアックで 1.54 GeV まで加速され、ダンピングリングに入射される。リング内でビームのエミッタンスを 3×10^{-8} m-mrad 下げた後、ダブルキッカーによってリング外に出されたマルチバンチは、第 1 Bunch Compressor を通過する際にバンチ長が 5 mm から 0.42 mm まで短縮される。バンチ長をさらに短縮するには、エネルギーを高める必要があり、そのため 4 GeV の S-band Pre-Accelerator で 5.54 GeV まで加速する。主リニアックの入射端までビーム伝送ラインで導かれたマルチバンチは、アークによって 180° ビーム方向を変える際に、第 2 Bunch Compressor を通過し、そのとき各バンチ長はさらに 76 μm まで短縮される。主リニアックは 100 MeV/m の高加速電界を実現するために X-band (11.424 GHz) が採用されており、全長 7 km でマルチバンチを 500 GeV まで加速する。主リニアックで加速されたバンチは、全長約 400 m の最終収束系(Final Focus System)で、バンチを $\sigma_x = 230$ nm、 σ_y

= 1.4 nm まで絞り込まれ、反対方向から来る陽電子のバンチと検出器内で衝突する。

陽電子の場合は少し異なる径路をたどる。RF-Gun で発生した電子のマルチバンチを S-バンド・リニアックで 10~30 GeV まで加速した後、ターゲットに衝突させ陽電子を発生させる。これを 1.54 GeV まで S-バンドリニアックで加速するが、電子に比べてエミッタンスが高いので、プリダンピングリングに入射し、ダンピングリングの入射アクセプタンス以内にビームエミッタンスを下げる必要がある。ダンピングリング以降の陽電子バンチは、電子の場合と同様なスキームで衝突点に導かれる。

ATF 計画

JLC を実現するには、従来の加速器技術を 1~2 桁上廻る技術が要求され、そのために JLC に使われる各加速器コンポーネントの試作をおこなない、研究開発を続けていかなければならない。また、JLC は、これらの加速器コンポーネントが集合した巨大な加速器システムである。サブ μm のバンチビームを安定に衝突させるには、ほとんどの加速器コンポーネントに計算機制御が必要とされ、そのため JLC は巨大な計算機システムとしてとらえる必要がある。ATF (Accelerator Test Facility/試験加速器施設) は、最小の構成で JLC の全加速器コンポーネントをシステムとして試験できる設備である。現在その一部分が TRISTAN 日光実験室において完成しており、S-バンド入射器の試作、S-バンド加速管での高電界発生試験、並びに 85 MeV/m でのビーム加速試験、200 MW 級の RF コンポーネントの開発がおこなわれている。さらに ATF の各コンポーネントである、30~120 MW 級の X-バンド・クライストロン並びに変調器の試作、X-バンド加速管の試作、Damped - Structure の設計、RF パルス圧縮技術の開発、アラインメント・システムの開発、ダンピングリングの設計並びに FODO ユニットの開発、キッカー電磁石の開発、Wiggler 電磁石ユニットの設計試作、バンチコンプレッサーの設計、最終収束系の設計並びに最終収束 Q 電磁石の試作、レーザー技術を利用した偏極電子銃や RF 電子銃の開発等が進め

られている。また、ビームを安定に加速するために要求される、リニアックでのビームダイナミクスの研究も同時に進められている。さらに、JLC の基本設計に大きな影響を与える、TeV 領域の物理の理論と Simulation 技術の開発、検出器の設計、衝突点付近でのビームビーム相互作用、最終収束系、background 問題等の研究が進められている。

ATF の構成を図 2 に示す。電子銃(熱陰極電子銃、偏極電子銃、RF-Gun) で発生したマルチバンチは、S-バンドリニアックで 1.54 GeV まで加速し、ATF-ダンピングリングに入射される。バンチの繰り返しは、50 pps で、JLC の 1/4 である。電子ビームは放射減衰により、水平、垂直方向の規格化エミッタンスを $6.0 \times 10^{-6} \text{ rad.m}$ 、 $3.0 \times 10^{-8} \text{ rad.m}$ 以下になるまでリング内を周回させ、ダブルキッカーでリング内に出され、バンチコンプレッサーでバンチ長を圧縮した後、ATF-FF システムで、バンチは垂直方向に 30 nm まで絞り込むことができる。現在 SLC で達成している 2~3 μm に比べて、2 桁近く絞り込むことができ、JLC へはあと 1 桁絞り込む技術が残されることになり、JLC 最終収束系への中間段階の試験になるものと期待される。

Beam-Beam Interaction		
Beam Energy	E (GeV)	500
R.m.s. Beam Size at IP	σ_y^* (nm)	1.4
	σ_x^* (nm)	230
	$R = \sigma_x^*/\sigma_y^*$	166
Aspect Ratio		
Disruption Parameter	D_x	0.082
	D_y	13.5
Critical Parameter of Beamstrahlung	Υ_{max}	1.12
	Average Energy Loss by Beamstrahlung	δ (%)
Number of Photons / Particle	n_γ	1.57
Crossing Angle	ϕ_{cross} (mrad)	6.0
Final Focus System		
Beta Function at I.P.	β_x^* (mm)	14
	β_y^* (mm)	0.05
Momentum Acceptance	$\delta p/p$ (%)	± 0.6
Total Length / beam	L_{ff} (m)	365
Distance between Last Quads	$2 \times l^*$ (m)	2.0
Pole Tip Field of Last Quad	B_t (T)	1.4
Aperture of Last Quads	$2a$ (mm)	1.0

表 1: 衝突点におけるビームの特性

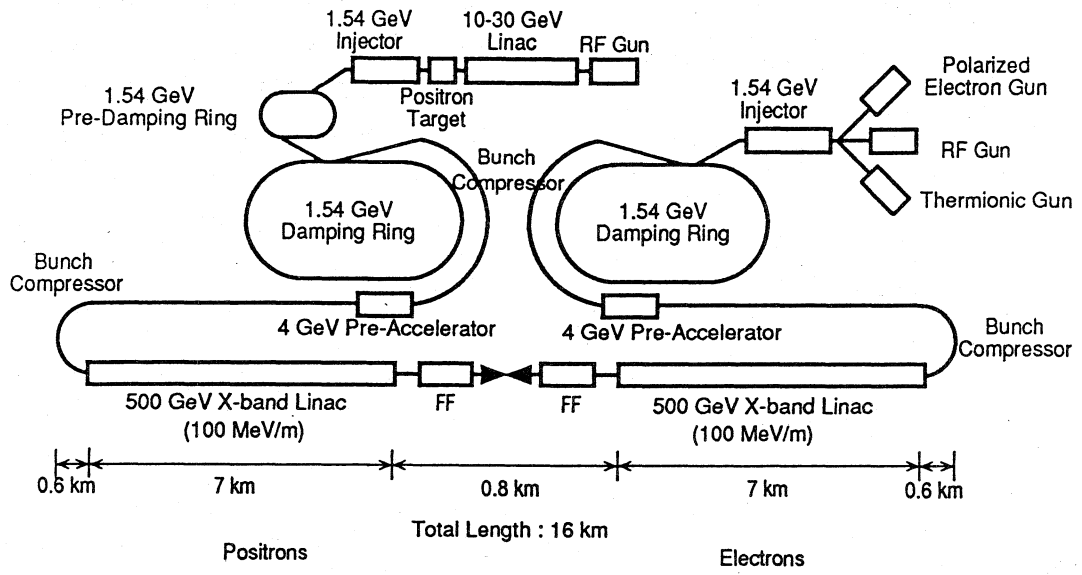


図1. JLCの Schematic Diagram

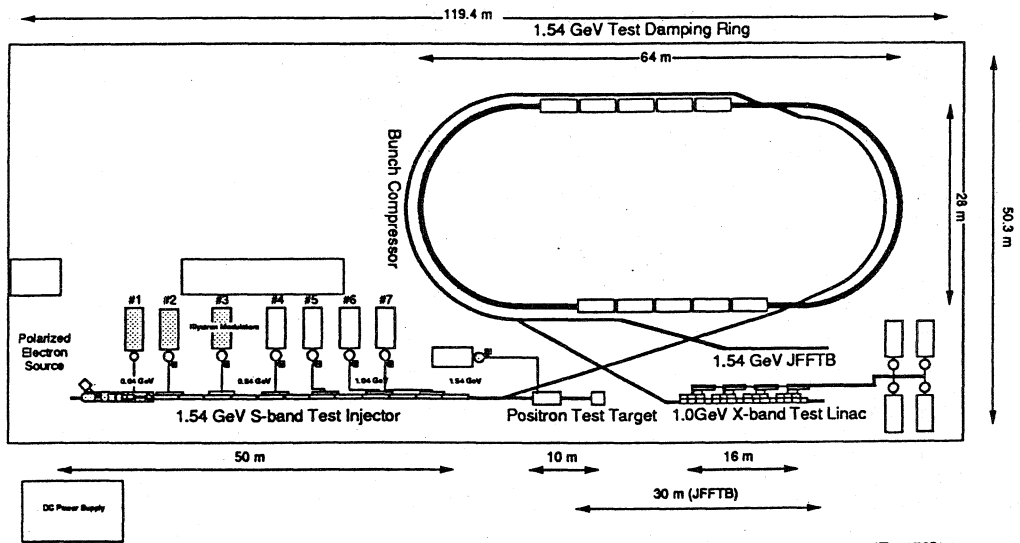


図2. ATF(Accelerator Test Facility)の Schematic Diagram