

JLC Project and Test Accelerator Facility (TAF)

Seishi Takeda* & Linear Collider Study Group

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

Abstract

Recently, the project of the JAPAN LINEAR COLLIDER (JLC) is closed up as one of the post-TRISTAN projects. Theoretical and experimental work for the R&D of the JLC project has been carried out by the study group. The Test Accelerator Facility (TAF) has been proposed to prove the results of the R&D by accelerating the beam in the linear accelerator. The outlines of both the JLC project and the Test Accelerator Facility are described.

J L C 計画

電子・陽電子衝突型リング加速器は、放射光損失が本質的に避けられず、そのため重心系エネルギーで LEP-II を上回る 200 GeV 以上のエネルギーで電子・陽電子衝突による物理を推し進めるには、放射光損失のないリニアコライダー（電子・陽電子衝突型線型加速器）が有望である。

1984年から1986年にかけて、高エネルギー委員会は、TRISTAN 後の高エネルギー物理実験の方針を討議した結果、電子・陽電子衝突による物理をエネルギーフロンティアである TeV 領域でさらに推進することを決め、リニアコライダーの研究開発に着手することを提言した。これに答えて 1987年から高エ研において、大学の高エネルギー物理学研究機関の協力を得ながら TeV 領域のリニアコライダーの可能性を調査するための R&D が進められている。

重心系エネルギーで 200 GeV 以上のリニアコライダーを実現するには、従来の加速器技術を 1 桁から 2 桁上回る高いレベルの技術が要求される。全長約 10 km でリニアコライダーを実現させようとするとき、要求するエネルギーが高いほど建設に必要な技術レベルが高くなり、それだけ長い開発期間が必要となる。リニアコライダーの場合には、リング加速器と異なり加速勾配を上げるか、全長をさらに長くすることでエネルギー増強が原理的に可能である。従って、今後の R&D の進捗状況にあわせて無理のないエネルギーで建設を開始し、さらに R&D を進め段階を経てエネルギーを増強する計画は、リニアコライダーを用いてエネルギーフロンティアにおける物理が進められる近道であると考えられる。

約10年後に物理実験を開始することを目標とすると、5～6年後にリニアコライダー

の建設に着手しなければならず、そのためには今後4～5年以内に全ての開発項目に目途を立てる必要がある。現在の R&D の進捗状況に照し合せると、400 GeV を目標に JLC-I 計画の R&D を推し進め、これを 5～6年後に建設開始する。R&D を継続し、さらに 加速勾配を増強して 600 GeV (JLC-II)、さらに全長を 20 km に延長して 1～2 TeV (JLC-III) にまでエネルギー増強する案が考えられる。

第 1 表に 400 GeV リニアコライダー (JLC-I) のデザインパラメーターを示す。

Parameters of the 200 + 200 GeV JLC-I

Beam energy at interaction point	E	200 + 200 GeV
Luminosity	L	$3.3 \times 10^{33} / \text{cm}^2 \text{sec}$
Number of particles per bunch	N	1.0×10^{10}
Number of bunches / sec	$N_b \times f_{\text{rep}}$	2000 pps
Repetition frequency	f_{rep}	200 Hz
Number of bunches / pulse	N_b	10
R.m.s. beam size at int. point	σ_x^* / σ_y^*	300 / 2 nm
Aspect ratio	$R = \sigma_x^* / \sigma_y^*$	150
Disruption parameter	D_x / D_y	0.096 / 14.4
Pinch enhancement factor	H_d	1.5
Normalized emittance	$\epsilon_{xn} / \epsilon_{yn}$	$3 \times 10^{-6} / 3 \times 10^{-8} \text{ rad}\cdot\text{m}$
Beam power per beam	P_b	0.64 MW

Parameters of Linacs and Damping Rings

Linacs and damping rings	Beam Energy (E_b)	rf frequency (f_{rf})	Acc. gradient (E_a)
e ⁻ linac for positron source	10 - 30 GeV	2.856 GHz	40 - 50 MeV/m
e ⁺ /e ⁻ injector linacs	1.54 GeV	2.856 GHz	40 - 50 MeV/m
e ⁺ /e ⁻ damping rings	1.54 GeV	1.428 GHz	
e ⁺ /e ⁻ preacceleration linacs	10 GeV	2.856 GHz	40 - 50 MeV/m
e ⁺ /e ⁻ main linacs	200 GeV	11.424 GHz	60 - 100 MeV/m

T A F (Test Accelerator Facility)

リニアコライダーの R&D はトリスタン加速器、PF入射器やPF Ring の建設で確立した技術をベースにし、従来の加速器開発の手法と同様、全ての加速器構成品について Computer Simulation から始まり、Cold 試験、High Power 試験へと段階を経て進めている。しかし、リニアコライダーの場合には、従来加速器と異なり Beam をサブミクロンまで細く絞り安定に衝突させる点で従来にない困難さがある。そのため特に Beam を安定に加速する技術を確立しなければならない。そこで、実際に Beam が加速でき、かつ加速器の全システムとしての安定度が試験可能な、試験加速器施設 (Test

Accelerator Facility)を試作しながら R&D を進めることになった。第1図にTAFの構成を示す。

TAF は 1.54 GeV S-band Injector Linac と 1.54 GeV Damping Ring、さらに 1.0 GeV X-band Linac から構成される総エネルギー 2.5 GeVの加速器施設である。TAFの建設は、設置場所の関係で次の3段階に分けての試作を予定している。

TAF Phase-I 並びに JLC-I 関連 R&D

Phase-Iでは、トリスタン日光実験室を中心に、TAF の試作、R&D を進めている。Phase-I での開発項目は各種あり、高電界を発生させるための大出力RF技術の開発、Linac で Beam を安定に加速するための制御技術、Damping Ring の設計、新方式の電子ビーム源、陽電子発生技術、アラインメント技術、ファイナルフォーカスの開発、Beam-Beam 効果、Detector、真空、施設等に致っている。ここでは R&D のアウトラインを紹介することにし、詳細は本研究会のリニアコライダー R&D グループによる発表を参照されたし。

X-band での R&D (Klystronと加速管)

全長 10 km でリニアコライダーを建設する場合には、ファイナルフォーカス部やビームトランスポート系に必要な長さを考慮して、加速管内で約 60~100 MeV/mの正味の加速勾配を実現しなければならない。放電限界は高い周波数が有利であるので、リニアコライダーの主 Linac では S-band の 4倍の 11.4 GHzを利用する予定である。11.4 GHzは、従来のLinacで利用されていない周波数であるので、新たに100~200 MW級の大出力マイクロ波源と、高電界に耐える加速管の開発が必要である。

現在 30 MW クラスの X-band Klystron のダイオード試験をKlystron開発用専用モジュレーターを利用して行っており、さらに 100 MW 級の Klystron の設計を始めている。X-band 加速管に関してはコールドモデルではあるが、加速セルの試作を行っており、今年度中に大出力がフィードできる加速管を試作する予定である。

S-band における 高電界発生

高電界の発生はリニアコライダーにとって最優先の開発項目である。そのため、X-band Klystron が完成する前に、既に大出力Klystronが現存する S-band 領域で高電界加速実験を始めることになった。現在日光実験室のコンクリートシールド内に高電界加速実験を主目的とした 0.2 GeV S-band Linac を試作中である。マイクロ波源としては、日米協力で入手した SLAC の 5045型 Klystron を使用している。2台の出力を合成し、パルス幅 1 μ s、最大 200 MWのピーク出力を発生させ、全長 0.6 m、1.5 m、3 m の加速管にフィードする。そのとき、それぞれ最大 100 MeV/m、70 MeV/m、50 MeV/m の加速勾配が得られる。現在、0.6 m 管を用いて高電界加速実験を行っている。JLC-I では Damping Ring 入射用、並びに Damping Ring-Main Linac 間にそれぞれ1.54 GeV と10 GeV の S-band Linac が各2台必要で、さらに陽電子発生用として 10~30 GeV の S-band Linacが1台必要である。Phase-I での高電界型 S-band Linacの開発は これらの S-band Linacの開発に関連している。リゾナントリングを

現在調整中で、大出力の S-band ウィンドウや導波管構成品の開発に専用に利用する予定である。

電子ビーム源の R&D

JLC-Iでは S-band の4波長の Bunch Separation の Multi-bunch を加速する。バンチ内の電子数は 1×10^{10} 個で、バンチ数は10個である。熱陰極型電子銃でグリッド制御でこのようなバンチを発生することは困難である。そのため、現在、フォトカソードを用いたRFガンを開発中である。フォトカソードの製作、並びにモードロックレーザーに関しては、レーザーtron開発過程ですでに確立した技術を応用する予定である。

陽電子発生源の設計

リニアコライダーの場合は、リング加速器と異なり、衝突後の電子・陽電子は捨て、再利用しない。そのため電子ビーム源と同じ数の陽電子を発生させなければならない。JLC-Iのデザインパラメーターが示すように、 2×10^{13} 個/秒の陽電子を発生させなければならない。最近、電子ビームがターゲットに衝突したとき発生する陽電子を、加速管内高電界で加速した場合のシミュレーションコードを完成した。

Damping Ring の R&D

1.54 GeV の Damping Ring の設計が現在進められている。この Damping Ring のデザイン・パラメーターを実現するのはかなりの技術開発が必要である。そのため、シミュレーションによる総合設計、キッカー電磁石の開発、ウイグラー磁石の設計、RF系の検討、真空のデザイン、ビームモニターの設計が進められている。

アラインメント技術の R&D

リニアコライダーに於いては、サブミクロン以下の Beam を衝突させるために、アラインメント技術は重要である。空気中での1次元でのサブマイクロンの位置計測、並びに振動除去フィードバックシステムの試作をおこない、現在真空中での実験中である。さらに多次元への拡張について検討中である。

ファイナルフォーカスの開発

リニアコライダーでビームを絞るためのファイナルフォーカス系の設計並びに磁石の試作を行っており、現在磁場測定法の検討中である。

Phase-II 並びに Phase-III

Test Accelerator Facility の計画は現在のところ開発現場である日光実験室の面積で制限されており、さらに R&D を推し進めるには広い場所が必要である。現在加速器の試験が可能な建屋を要求しており、これが実現した場合には、X-band Linac を用いた高電界加速試験を行う予定である。さらに Damping Ring の試作を行いたいと希望している。