

[12C-05]

R&D STATUS OF THE X-BAND LINAC SYSTEM FOR THE JLC PROJECT

M. Akemoto, Yong Ho Chin, T. Higo and N.Toge^{*)}

**Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, JAPAN**

Abstract: The JLC is a Japanese accelerator project which aims at providing electron-positron collisions at sub-TeV up to TeV energy range. An overview of the R&D status for the X-band(11.424 GHz) linac system for the JLC project is presented.

JLC 計画のための X-バンド線形加速器システムの開発現状

1. 始めに

JLC 計画では、重心系エネルギー 500 GeV 程度から 1 TeV 程度までの電子陽電子衝突実験を行うためのリニアコライダの建設を目指している[1]。この加速器の実現のためには、加速中のビームエミッタンスの増大を回避しつつ高い加速勾配を効率よく発生できる線形加速器の実現が不可欠である。JLC 用の主線形加速器の基幹スキームとして、KEK は (高エネルギー加速器研究機構) で X-バンド (11.424 GHz) 線形加速器の開発を推進してきた[2, 3]。この報文ではその開発現状について紹介する。まず、次項で加速器システムの構成について概説する。続いて、クライストロンモジュレータ、クライストロン、大電力高周波パワーの分配システム、および加速管の開発状況を述べる。

2. X-バンド線形加速器システムの構成

X-バンド線形加速器の基本システム構成を図 1 に示す。大電力クライストロンで発生した高周波(RF)パルスは、伝送管を通して加速管に分配され、ビーム加速の用に供される。

一般に、電子線形加速器では、所要の加速勾配を発生するためには、一本のクライストロンで発生する RF パルスは電力的には小さすぎ、時間的には長すぎる傾向にある。このため、何らかのパルス圧縮が必要となる。JLC X-バンド線形加速器では、一パルスあた

り、2.8 ns 間隔で 95 バンチからなるマルチバンチビームを加速するが、フィル時間を加えて各加速管に供給されるべき RF パルス長は約 360 ns である。JLC では、これに対して、クライストロンのパルス長さをその 4 倍、1.5 μ s に設定した。運転では、8 本のクライストロンからのパルスを足しあげ、そのうち、これを時間的に 4 分割して、4 つの加速管群に分配する。このような RF パルス圧縮分配の方法は、DLDS (Delay Line Distribution System) と呼ばれているが、共鳴空洞を用いる SLED 方式およびその派生に比べて、10 - 15 % 以上の効率改善が見込まれている。

加速管のシャントインピーダンスは平均 90 M Ω /m、加速モード Q 値は 7800 で、これによって、加速勾配 75 MV/m (ビームローディング無し)のとき)を発生する。ビーム加速時の実効加速勾配は 55 MV/m となり、従って重心系エネルギー 500 GeV の運転を行うのに必要な線形加速器の実効長 (入射器、最終収束部を除外する) は 9 km 程度となる。大電力 RF 系の総合電力効率としては 38 % 程度を目標としている。これによって、500 GeV 運転時 (繰り返し 150 Hz、ルミノシティ $8.7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) のときの所要 AC 電力は 141 MW と見積もられる。

以上が X-バンド線形加速器の基本構成の考え方であるが、必要なハードウェアの全てがただちに手に入るわけではなく、相当の研究開発 (R&D) が必要となる。KEK グループでは全ての必要部品の

^{*)} N.Toge 0298-64-5224, nobu.toge@kek.jp

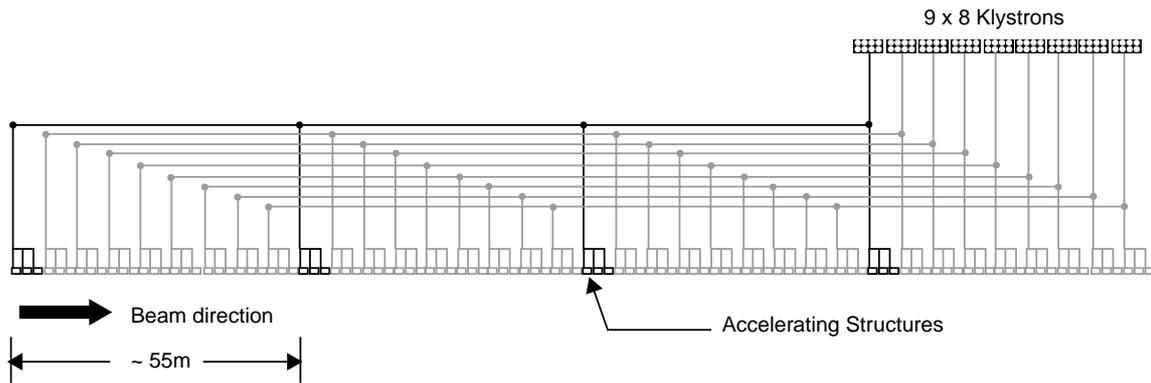


図1: JLC 加速器のための主線形加速器の構成概念図 . クライストロン8本のパッケージが9個集まったRFクラスターによって, 108本の加速管(延長約220m)をドライブする. 1クラスターでの全加速電圧は約10.7 GeVとなる.

国産供給化を目指して, 国内大学, 研究機関, 企業との開発を推進してきた. 同時に, 予算規模上, JLCが何らかのかたちで国際協力化されることも将来の計画運営の射程に入れる必要があると認識されている. このため, KEKグループは海外研究所との協力関係も重視しており, 米国 SLAC, ロシア BINP Protvino 支所などとの共同研究をも積極的に展開している.

3. クライストロンモジュレータ

クライストロンモジュレータの満たすべき基本性能は, 最大繰り返し150 Hzでフラットトップ1.5 μ s以上のパルス安定にクライストロンに供給することである. パルス電圧は最大500 kV, クライストロンのパービアンスには0.75 - 0.8 μ Pを想定している. 一台のモジュレータで多数のクライストロンを運転することができれば, コスト低減に資するところ大ではあるが, システムの信頼性確保に必要な対策の実現可能性に鑑みて構成は最終的に決めることになる.

現在の開発重点としては, スイッチ素子としてサイラトロンを使うことを止め, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と呼ばれる大電流半導体素子を採用することで, 高効率化, コストの低減と信頼性向上を図る可能性について追求している.

4. クライストロン

クライストロンの基本仕様は, 最大繰り返し150 Hzで, 75 MW, パルス長1.5 μ sのX-バンドRF出力を得ることである. RF効率は55%を目標とする. 重心系エネルギー500 GeV 運転のとき必要なX-バン

ドクライストロン総数は約3600本である.

KEKでは, 海外研究所との共同研究を進めると同時に, 国内でのX-バンドクライストロンの開発基盤の充実に努めてきた. これまでに, ソレノイド収束タイプのクライストロンで50MW, 1.5 μ sの出力を実現している(図2). 現在の研究重点は, ビーム収束のために周期構造をもった永久磁石群を採用した, PPM (Periodic Permanent Magnet) タイプのクライストロンの開発にある. これによって, クライストロン運転電力の低減と各種インターロックの簡略化を目指している. 日本で開発されたPPMタイプX-バンドクライストロンの1号機の試験は, 本年(2000年)7月に予定されている.

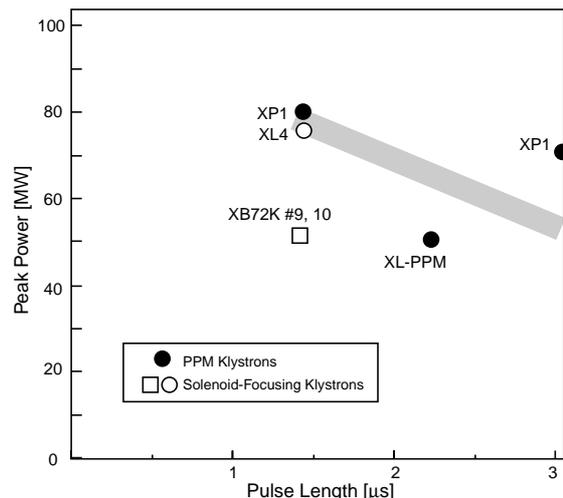


図2: X-バンドクライストロン試作機の性能例. XB72KはKEK試作のソレノイド収束型機, それ以外はSLACでの試作機である. 目標性能を灰色の太線で示した.

図 2 :

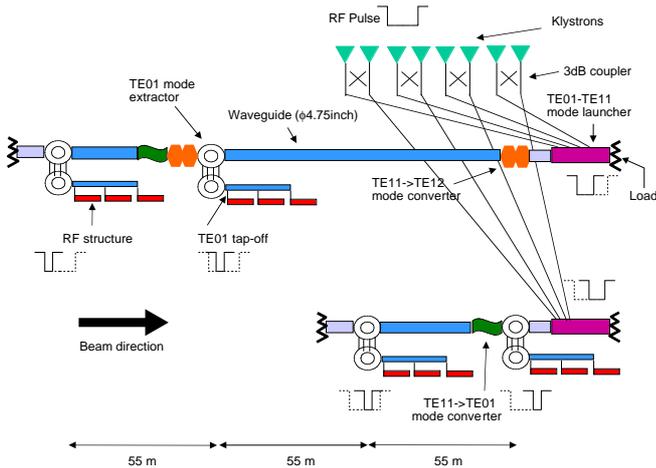


図 3 : 2-mode DLDS の構成例 . 8 本のクライストロン群からの X- バンド RF 電力は , 二本の導波管を使って 4 箇所 に散在する加速管に供給される . 導波管中での伝送モードには TE12 と TE01 を用いる .

5. 大電力高周波分配システム

DLDS では大量の導波管が必要となる . その数量を減らす一方法として導波管の上流端から各複数の伝送モードの X- バンド電力を注入することが考えられる (Multi-Mode DLDS) . 必要に応じて所定の伝送モードの X- バンド電力のみ取り出して加速管に供給するようにすれば , 必要な導波管群の総延長を低減することができる . 図 3 にそのような Multi-Mode DLDS の構成例を示す . これは , 一本の導波管に TE12 と TE01 の二つのモードで同時に X- バンド電力を伝送するケースである . KEK では , 99 年夏秋に約 50 m の導波管で TE12 モードを伝送する低電力試験を行い , 伝送エラー , 減衰などについて良好な結果を得た . 今後の重点研究項目は , 大電力試験用部品の開発 , 試作 , Multi-Mode DLDS の実装スキームの改良 , X- バンド RF 位相の測定制御技術の開発などである .

6. 加速管

これまでの JLC ための加速管研究では , 効率良く加速勾配を発生すると同時に , ビームエミッタンスの増大を防ぐべく , ウェーク場の共振を出来るだけ低減するような設計を開発実証することが大きな課題であった . KEK では , 米国 SLAC との協力のもと , 高調波を離調し , かつ積極的に減衰もさせる , Damped-Detuned 型加速管の開発を進めてきた . これまでに , 何回かのビーム試験を経て , ウェーク場の減衰については十分 JLC の要求仕様を満たせる加速管が作れることを実証し

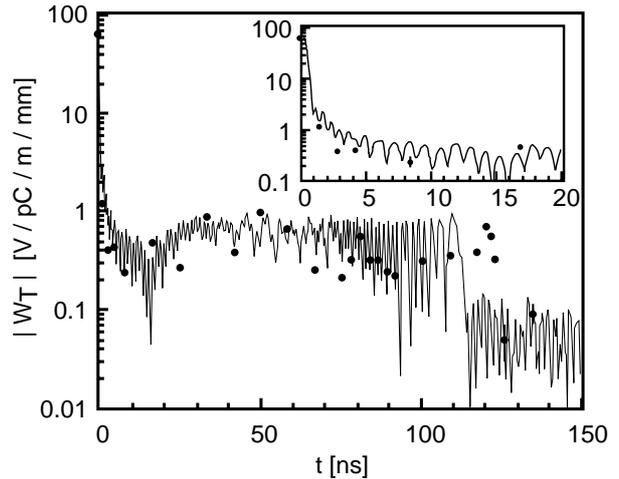


図 4 : KEK / SLAC で共同開発した加速管のビーム試験結果 . 横方向ウェーク場強度の実測値を , 先行バンチ通過後の時間の関数として示している . 黒丸 : 測定値 , 実線 : 計算 . ウェーク場減衰の目標は , 「 1 V/pC/m/mm 以下 」 である .

ている (図 4 参照) .

今後の重点開発項目には , 大電力運転時の加速管の安定性の確立 , 電気設計の更なる最適化 , 大量生産に向けた生産技術の工業化の研究などが挙げられる .

7. 終わりに

JLC の主線形加速器のための X- バンド RF 系の開発状況について , 駆け足で触れた . 今後の開発要目については個別に既に挙げた . JLC 実現に向けて技術確立するためには , 更に , 図 3 に示すような , クライストロン , DLDS , 加速管群の一セットを建設し実証運転することが必要と考えている .

参考文献

- [1] JLC Study Group, “ JLC Design Study ” , KEK-report-97-1, April, 1997.
- [2] Ed. by N.Toge, et al, “ International Study Group Progress Report ” , to be published as KEK report, 2000.
- [3] <http://lcdev.kek.jp>