

[12C-04]

## PHASE-I R&D SUMMARY AND PHASE-II PROPOSAL ON C-BAND LINAC FOR 500 GeV $e^+e^-$ LINEAR COLLIDER

T. Shintake, H. Matsumoto and C-band R&D Group

KEK, High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

Abstract

Phase-I R&D on C-band RF system for the high-performance electron linear accelerator started in 1996, aiming to develop key technologies required for the main linac in the  $e^+e^-$  linear collider at 500 GeV c.m. energy[1]. During four years R&D, we have developed 50 MW class C-band klystrons, the modulator pulsed-power supply, the flat-pulse RF-pulse compressor and the choke-mode type accelerating structure. Performances of those developed hardware components meet the basic requirement for the 500 GeV linear collider. The phase-II R&D is now under discussion, which aims to industrialize the fabrication of all hardware components, and check the system performance in a middle-scale test linac.

### Cバンド・リニアコライダの技術開発

#### Phase-I のまとめと Phase-II の提案

##### 1 Phase-I R&D のまとめ

1996年春よりR&Dを開始し、現在2000年春までにシステムに必要な構成要素のうち、パルスコンプレッサーの大電力モデルを除くすべての部分の開発および実証試験を終了した。これを表1にまとめた。Phase-IとPhase-II R&Dの概要は、以下のとおりである。

Phase-I: 1996~1999年、各コンポーネントの開発、基本性能の確認、RF系1ユニットの総合運転

Phase-II: 2000年~ 高信頼性、低コスト、量産化にかかわるR&D

クライストロンのR&Dはきわめて順調に進行し、500 GeV リニアコライダーに必要な50 MW クライストロンは完成の域に達したと言ってよい。目標達成率はおおよそ90%、残り10%は100 pps 運転を経験していないことである。100 pps 運転では50 pps に比べて熱負荷と平均真空度への負荷が2倍となるが、これには余裕があり問題はないと考えている。高電圧放電・発振不安定性などは、50 pps と100 pps とでは差異はない。

クライストロン電源は基本性能を満たしているが、量産化のためには各パーツのかなりの見直しが必要と考えている。

RF パルスコンプレッサーはコールドモデルによ

って、平坦パルスを精度良く出力できることが実証されたが、大電力モデルでの試験がまだである(2000年度実施予定)。

加速管は、1998年12月にSLACにて行ったビーム試験により、チョーク型空洞が期待した通りの減衰性能を持つことが実証された。実験では高い周波数の共振(23 GHz)も発見されたが、いわゆるトラップモードであり空洞の形状を僅かに変えることで解決できることがわかっている。

加速管とQ-magnetのアライメントは、空洞型ビーム位置モニタ(RF-BPM)が適していると考えている。1998年に開発したHOM-Free型RF-BPMは、原点位置精度に悪影響のあるTM<sub>010</sub>-modeを抑えており、モデル実験によって原点精度が10 μm以下であることが実証されている。

なお、最近の成果、および現在継続中の開発は、

- (1) C-band PPM Klystron (本会: 松本浩発表)
- (2) 滅菌処理用の小型Cバンド加速器(本会: 三浦発表)
- (3) インバー材使用の高安定RFパルスコンプレッサー
- (4) セラミックを用いた高精度パルス高電圧モニタ(本会: 高須発表)

## 2 Phase-II R&D 計画

リニアコライダーの建設に着手するまでに完了すべきハードウェアの開発項目を表 1 の右枠に示す。開発目標は大きく次の 3 項目である。

- (1) 製造コストの低減(量産化)
- (2) 信頼性の向上
- (3) 運転コストの低減(電力効率の向上)

これらを満足する加速システムを開発するには、企業との密接な研究協力を含めた、広範囲で緻密な研究計画のもとに、少なくとも 3 年以上の継続的な予算に基づいて実施する必要がある、高エネルギー委員会にて、現在その可能性を検討中である。

以下に Phase-II R&D の研究開発項目について、コンポーネントごとに解説する。

### 2.1 クライストロン コストの低減

クライストロンのベーキング(真空焼きだし)処理がクライストロンの製造費が高い大きな理由の一つとなっている。量産時には、ベーキング処理がスピードを制限する要因(ボトルネック)になるものと予想されている。そこで Phase-II R&D では、ベーキング処理の時間を短縮するために、クライストロンの製造に使われる材料の質や、機械加工後の表面処理について見直しを行う。

また High-Gain Klystron を開発する。これは信号ゲインを現在のものより約 20dB 程度高くし、出力 10W 程度の C-band 帯ソリッドステートアンプによって直接クライストロンを駆動する。これによってクライストロンごとの入力位相を高速デジタル変調し、モジュレータ電源とパルスコンプレッサーの波形補正、ビームローディング補正を加速ユニットごとに個別に自動制御する。

### 2.2 モジュレータ コストの低減

量産時には、モジュレータの部品はかなり安価に供給されるであろうが、これらをモジュレータに組み上げる作業費用がコストの大半を占め、また量産のボトルネックともなる。これを解決するために Smart Modulator2 号機ではモジュラー化した設計を採用する。これはモジュレータをその機能ごとにブロックに分けて、それぞれを部品の供給工場にて製造し、これをキャビネットに差し込む単純な構造と

する。これにより、製造時間が短くコストが低減、さらに加速器に組み込んでからのメンテナンスが短時間でいへ、加速器の停止時間を短くできる。

これと並行してサイラトロンの信頼性向上、長寿命化を行う R&D を実施する。サイラトロンの製造部品(例えば絶縁セラミック、アノード、グリッド、カソード電極)に高品質の材料を使用すれば、サイラトロンの寿命は飛躍的に長くなるものと予想される。ちなみに C バンドでは、ソリッドステート・スイッチの R&D は予定していない。これは、この数年以内に IGBT などのスイッチ素子が急速に進歩するとは考えにくいからである。

### 2.3 RF パルスコンプレッサー 高効率化

モジュレータ出力パルス電圧波形の立ち上がり部分のエネルギーを利用する事で、システムの電力効率の向上を目指す。これに用いるデジタル・ベクトル位相変調器を開発し、自己学習型フィードバックの機能をもたせて、ユニットのエネルギーゲインを一定に保持させ、システムの安定化を目指す。

### 2.4 加速管 コストの低減

加速空洞の形状と製造プロセスを最適化し、量産性を向上させてコストを低減する。さらに Phase-II R&D の期間に加速セルの加工を自動化する。

### 2.5 導波管・その他の部品 コストの低減

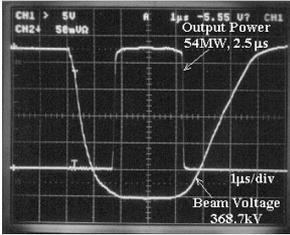
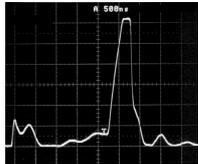
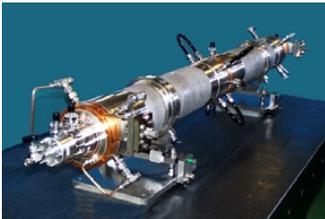
導波管は電子加速器の構成要素のうち意外にコストが高い隠れた部分である。コストの低減のために、必要な導波管部品の種類を減らし、規格化・簡素化をはかりコストを削減する。加工には自動化を積極的に取り入れる。

## 3 試験加速器

Phase-II R&D にて開発される構成部品を、ひとつの加速システムに組み込んで試験するために、エネルギーゲインが最低 1 GeV の試験加速器を建設する必要がある。長期運転を通してシステムの信頼性を評価する必要がある。

なお C バンド加速システムは 40 MV/m 近い加速工勾配が達成可能であり、基礎科学用の加速器や産業分野に広く応用されるものと期待している。

表1 Cバンド開発の成果と課題

項目 (500GeV 向け、第1期)	第1期 R&D の成果	今後の R&D の方向 (第2期 R&D の課題)
<p>クライストロン</p> 	<p>No.1,2,3 号機すべて 50 MW 出力達成、 パルス幅 2.5 <math>\mu\text{sec}</math>、50 pps 3号機、効率 47%を達成 収束磁石電力 4.6kW 寿命試験 2号機 5000 時間超 現在 3号機、寿命試験中</p> <p>PPM Klystron は現在開発中</p>	<p>量産に向けて設計詳細の見直し低価格化 High-gain klystron の開発(&gt; 70 dB)</p>  <p>50 MW 出力波形</p>
<p>クライストロン電源</p> 	<p>Smart Modulator 1号機 クライストロンの寿命試験に連 続使用中、電力効率 52.4%、 350 kV、2.5 <math>\mu\text{sec}</math> 幅の高電圧パ ルスを安定に供給</p>	<p>Smart Modulator 2号機 コストの低減 モジュラー化 電力効率を 60%以上に サイクロトンの長寿命化</p>
<p>RF パルス・コンプレッサ</p> 	<p>コールドモデル試験結果 ゲイン 3.25、効率 65% (High Power 試験は平成 12 年 度に行う)</p>	<p>電力効率の改善、目標 70%以上 大型空洞の採用 クライストロン位相変調による、立ち 上がり部の利用方式を確立</p>
<p>加 速 管</p> 	<p>チョークモード型加速管の特性 試験を SLAC にて行い、所定の 減衰特性を確認</p>	<p>量産化に向けて設計詳細の見直し 低価格化 製造のスピードアップ 加速セル加工ロボットの開発</p>
<p>アラインメント技術</p>  <p>RF-BPM</p>	<p>HOM-Free 型 RF-BPM</p> <p>分解能 &lt; 1 <math>\mu\text{m}</math> 原点精度 &lt; 10 <math>\mu\text{m}</math> を達成</p>	<p>マルチパンチへの最適化</p> <p>量産化、信号処理回路の低価格化</p>

参考文献

[1] T. Shintake, "C-band Accelerator Development for Linear Collider and Industrial Applications", 本会 1998 年特別講演、Invited talk at the 23th Linear Accelerator Meeting in Japan, KEK Preprint 98-146, September 1998 A.