

[07-P05]

## R&D Status of C-band RF-System Development for e+e- Linear Collider

T. Shintake, N. Akasaka and H. Matsumoto

M. Yoshida\* and Y. Takasu\*

Y. Ohkubo\*\*

J. S. Oh\*\*\*

KEK: High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba Japan

\*International Center of Elementary Particle Physics (ICEPP), University of Tokyo, Tokyo Japan

\*\*TOSHIBA Co., Ohtawara, Tochigi, Japan

\*\*\*PAL-POSTECH, Pohang, Korea

**Abstract:** We are currently carrying out the R&D program on C-band (5712 MHz) RF system development for the e+e- Linear Collider project, since April 1996 at KEK. During three years R&D, we have developed new high-power klystrons at 50 MW peak-power level (TOSHIBA E3746 series), and whose pulsed power-supply named "Smart Modulator", RF pulse compressor which generates a flat pulse required for the multi-bunch beam acceleration. The full spec version of the C-band accelerating structure of the choke-mode type damped-accelerator was developed, whose damping performance on the wakefield was measured using beam at the SLAC-ASSET in December 1998 [5]. In this paper, brief report of R&D status and result of the ASSET test are presented.

### Cバンド技術開発の現状

#### 1. はじめに

1996年度より、リニアコライダー計画 R&Dの一環として C バンド周波数 (5712MHz) のライナックの技術開発を KEK において開始した[1,2]。

なぜ C バンドか、もういちど確認すると、

- (1) シャントインピーダンスが S バンドより $\sqrt{2}$ 倍高くなり、リニアコライダーの施設長が S バンドを用いた場合よりも短く出来ること。
- (2) これに必要なクライストロンはパルス出力 50 MW であり、S バンドの既存技術を応用して開発可能なレベルであること。
- (3) クライストロンを駆動する高電圧パルスは 350 kV x 2.5  $\mu$  sec であり、PFN ラインタイプのパルス・モジュレータ電源が使用可能であり、その技術は十分に確立されていること。
- (4) パルスコンプレッサーは、3 連空洞型を使用すれば、比較的小型の空洞 (約 1 m 長) で、平坦な圧縮 RF パルスが得られること。
- (5) 加速管の真直度は、2m 長に対して許容最大曲がり 50  $\mu$ m 程度であり、既存の技術で製造可能なレベルであること。
- (6) C バンド R&D で開発された技術は、既存技術から極端にかけ離れたものでなく、またその製造技術も現状の技術で対応可能な範囲であるため、本来の目的であるリニアコライダーのほか、産業応用が可能であること。たとえば小型

高性能の電子線癌治療器や電子線滅菌装置へ応用。

さて、1998 年度までに、C バンド・クライストロンをはじめとする各コンポーネントの開発をほぼ終了した。その詳細は、昨年の本会にて特別公演として発表したので、そちらを参照していただきたい [2]。その後の開発項目でもっとも大きな進歩は、

- (1) C バンド・クライストロンの 3 号機が、出力 53 MW、効率 47% という高い性能を達成したこと、
- (2) C バンド加速管のビームを使った wakefield 測定を昨年 12 月に米国 SLAC にて行い、チョーク・モード空洞の優れた減衰特性が実証されたこと、

である。クライストロンについては、大久保が本会にて発表しているの、そちらを見ていただき、ここでは加速管のビーム試験について述べる。

なお本会では C バンド関係の最近の研究から、次の各発表を行っているの、そちらを参考にさせていただきたい。

- (1) C-band 加速管の製造。 新竹ほか
- (2) RF パルスコンプレッサーの電力効率の最適化。 吉田ほか
- (3) パルス高電圧測定のための高性能・容量性分圧器の開発。 高須ほか
- (4) ビームインピーダンスのない新型フランジの開

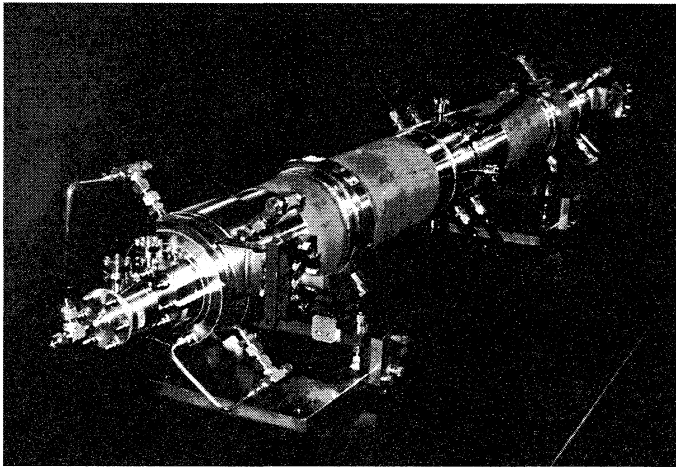


図1 完成したCバンド加速管。全長約2m、91セル。研究会での発表を参考にさせていただきたい。

発について。 松本ほか。

## 2. Cバンド加速管の概要

完成したCバンド加速管の外観を図1に、その断面図を図2に示す。Cバンド加速管では multi-bunch beam instability を押さえるために、図2のようにCバンド・グループが独自に提案・開発した choke-mode 型空洞を採用して wake-field を強制減衰させる構造としている。

加速管両端の入出力カプラ空洞では、不要なビームキックを避けるため、本グループの松本が開発し

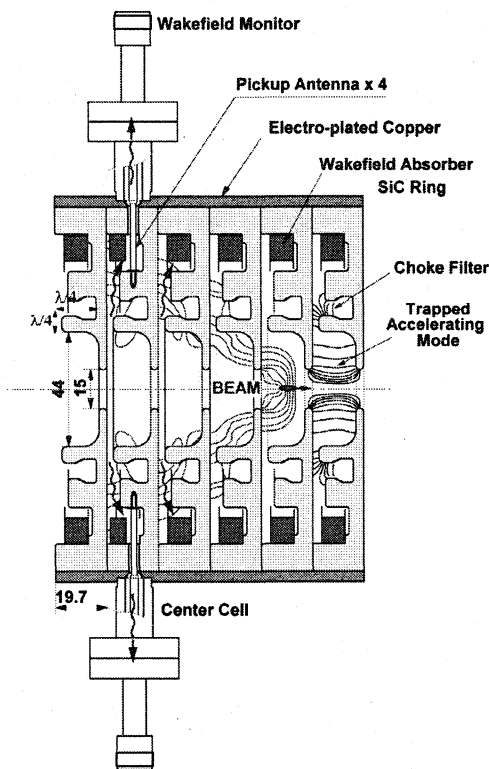


図2 C-band 加速管の断面構造。

た double-feed coupler (2 個の結合アイリス) を採用し、対称な電界を発生させる構造となっている。

加速管の上下流両端には、空洞型ビーム位置モニターが取り付けられており、ビームの位置を  $1 \mu\text{m}$  以下の分解能、 $\pm 10 \mu\text{m}$  以内の絶対精度にて観測できるようになっている。また中央のセルには図2のように SiC リングの背後に4本のロッドアンテナが取り付けられており、これにより wakefield の波形とスペクトルを観測した。また上下2本の差信号からビーム位置を検出する wakefield-BPM としても使用した。

加速管の製造については文献[4]か、新竹の本

## 3. Wakefield 減衰特性の最適設計

チョーク部の詳細設計や SiC リングの寸法は wakefield 減衰特性を MAFIA にてシミュレーションしながら最適化した(赤坂の論文[3])。Wakefield は SiC 保持部からある程度反射させて入射波との干渉によりキャンセルして TM110 モードを効果的に減衰させている(一種の共鳴吸収)。定勾配型のためアイリス径  $2a$  と空洞径  $2b$  がセルごとに変化し、下流ほど TM110 周波数が高くなるので、SiC 寸法もこれに合わせて3段階に変化させている。Wakefield の評価は加速管を12個のグループに分けて、それぞれを5セルの定インピーダンス加速管として近似し、MAFIA コンピュータ・コードを用いてビームを走らせ計算。これを合計して加速管全体の wakefield を評価した。それによると、2番目のバンチがくる時間(2.8 nsec おくれ)において、transverse wakefield は  $0.5 \text{ V/pC/mm/m}$  と予測された。なおマルチ・バンチによるエミッタンス増加が25%以下に収まる条件は  $0.7 \text{ V/pC/mm/m}$  である。

## 4. Wake Field の測定

完成した加速管は、ローレベル位相測定の後、米国サンフランシスコ近郊の Stanford 大学附属施設である SLAC: Stanford Linear Accelerator Center に輸送し、昨年12月に ASSET 施設にてビーム試験を行った。

### 4.1 ASSET ビームラインについて

図3に ASSET の構成を示す。ASSET (Accelerator Structure Setup) は SLAC Two-mile Linac のダンピング・リングすぐ下流にあり、非試験加速管にドライブ・バンチとして陽電子を、検証バンチとして電子ビームを入射させることができる。

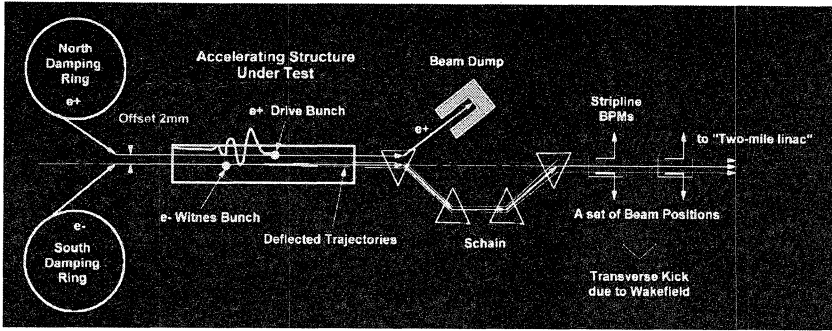


図3 SLAC-ASSETの構成

電子・陽電子用のダンピングリング間のRF位相差を調整することで検証バンチの遅れ時間をドライブバンチの前後にスキャンし wakefield の時間変化を測定できる。加速管通過後、ドライブバンチは偏向磁石によってビームダンプにすて、検証バンチのみが下流のビームラインに輸送され、メインライナックに設置されたBPMを用いてビーム位置を読み出す。測定された軌道変動から、加速管でのキック量  $\Delta\theta$  を求め、ドライブバンチの電荷量  $Q$  と位置オフセット  $\Delta y$ 、ビームエネルギー  $E$ 、加速管の長さ  $L$  から、transverse wakefield は

$$W_{\perp} = \frac{E\Delta\theta}{eQL \cdot \Delta y}$$

によって算出される。今回の ASSET 試験でのパラメータは、ビームエネルギー 1.2 GeV、ドライブバンチ 1 nC、そのオフセット  $\pm 2$  mm、検証バンチ 1 nC である。

#### 4. 2 Wakefield の測定結果

図4に測定された Wakefield の結果を示す。振動の初期は 7.8 GHz の TM110 モードが主成分であり、きれいに減衰していることがわかる。その初期値 15 V/pC/m/mm は、K. Bane によって Diffraction Model を用いて解析的に計算された値とほぼ一致した。また FFT 解析によると TM110 モードのスペクトル幅はシミュレーションにより予想された値

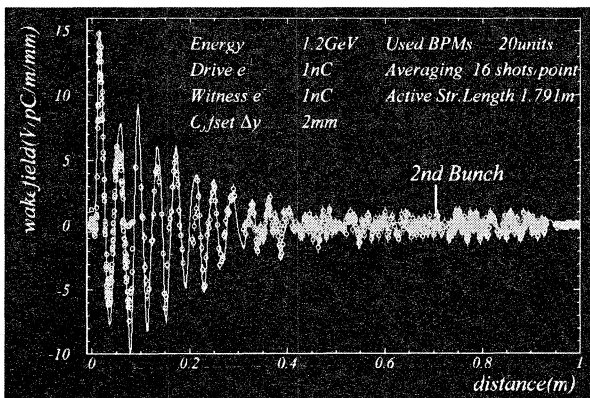


図4 測定された Wakefield.

と合致し、その減衰特性が設計どおりであることがわかった。

しかし時間(距離) 0.4 m 以降では、予期しない高い周波数の振動が観測され、その FFT 解析をみると 20, 23 GHz の 2 成分であることがわかった。シミュレーション・モデルの詳しい見直しによって、この 2 つのモードは空洞壁からチヨークにつながる開口部でちょうど電場がキャンセルして結合がな

くなり、空洞内部にトラップされていることがわかった。そこで開口部の位置を軸方向に 2mm 程度変化させてみたところ、これらのモードはトラップされず、問題は容易に解決されることがわかった。将来の設計にフィードバックする予定である。

#### 4. 1999 年度 C バンド開発

本年は、以下の項目を中心に行いたい。

- (1) PPM (周期永久磁石収束) による C バンドクライストロンの開発。
- (2) RF パルス・コンプレッサーの大電力モデルの開発。

#### 謝 辞

今回の試験にあたり、Two-mile linac のビームタイムを C-band グループに対して快く了承していただいた SLAC の Prof. David Burke に感謝したい。また加速管の据付、ビーム試験に積極的に協力していただいた SLAC-NLC グループのメンバーに感謝したい。

#### References

- 1] <http://c-band.kek.jp>
- 2] 新竹"C-band Accelerator Development for the Linear Collider and Industrial Applications", 本会 1998 年度、特別公演、KEK Preprint 98-146.
- 3] N. Akasaka, et. al, "Optimization of Damping in C-band Accelerating Structure",
- 4] H. Matsumoto, et. al., "Fabrication of the C-band (5712 MHz) Choke-Mode Type Damped Accelerator Structure", LINAC98, Aug. 1998, Chicago, USA, KEK Preprint 98-143, Sept. 1998 A.
- 5] T. Shintake, et. al, "The First Wakefield Test on the C-band Choke-Mode Accelerating Structure", PAC99, March, 1998, New York.