

HIGH GRADIENT TEST OF THE C-BAND CHOKE-MODE TYPE ACCELERATING STRUCTURE

T. Inagaki^{1,A)}, T. Shintake^{A)}, H. Baba^{A)}, K. Togawa^{A)}, K. Onoe^{A)},
X. Marechal^{B)}, T. Takashima^{B)}, S. Takahashi^{B)}, H. Matsumoto^{C)}

^{A)} SPring-8 / RIKEN Harima Institute 1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Hyogo, 679-5148

^{B)} SPring-8 / JASRI 1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Hyogo, 679-5148

^{C)} KEK 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801

Abstract

The C-band (5712 MHz) choke-mode type accelerating structure will be used for SPring-8 Compact SASE-FEL Source (SCSS). To make the accelerator length short, we designed the field gradient as high as 40 MV/m. Since it is higher gradient than other traditional electron accelerators, we have to carefully check its performance (RF breakdown, dark current emission, etc.) in the high gradient test stand. The first experiment will be scheduled in this summer. In this paper, we will describe the preparation progress for the test.

C-band チョークモード型加速管の高電界試験

1. はじめに

SPring-8 Compact SASE-FEL Source (SCSS)^[1]では、チョークモード型のCバンド(5712 MHz)加速管^[2]が使用される。図1に示すように、SCSSでは、この加速管にピーク強度80 MWのRFを供給し、40 MV/mの加速電界を得る。この時、最大表面電界は約80 MV/mと従来のSバンド加速管の倍の電界強度となる。このCバンド加速管は、カップラー部アイリスの厚みを増し、電気的に滑らかな形状に設計している。更に無酸素銅の母材にHIP処理を施し、内面を超精密旋盤で鏡面加工を行なうなど、高電界に耐えられるような製造方法を取っている。

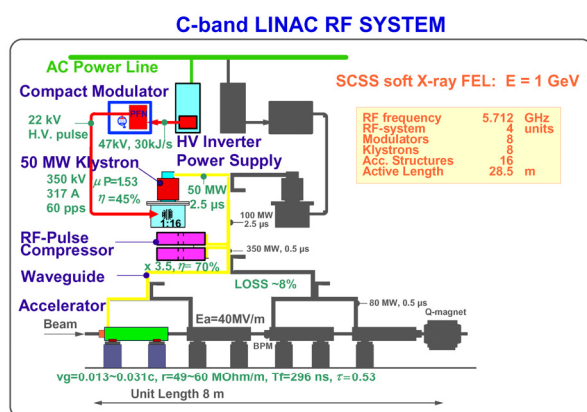


図 1: Cバンド加速器システム 1ユニット分 (250 MeV)。今回の高電界試験にて、左半分を用意し運転試験を行なう。

しかし量産に入る前に、総合的な性能を大電力RFを用いて確認する必要がある。従って、実際に使用するものと同じ加速管に大電力RFを供給し、加速管のエージングを行なうと共に、高電界による放電の頻度や場所の特定、暗電流の量と分布を測定する。

また、今回の加速管試験は、加速管の試験だけでなく、電源からクライストロン、導波管コンポーネントに至るまでのCバンド加速器システムの複合試験でもある。

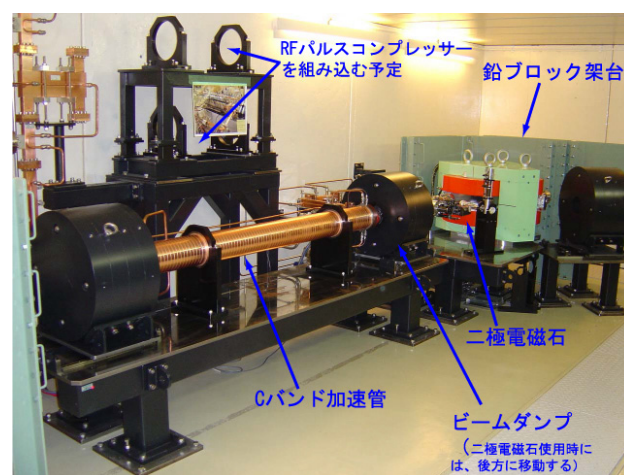


図 2: Cバンド加速管、および暗電流測定用機器

¹ E-mail: inagaki@spring8.or.jp

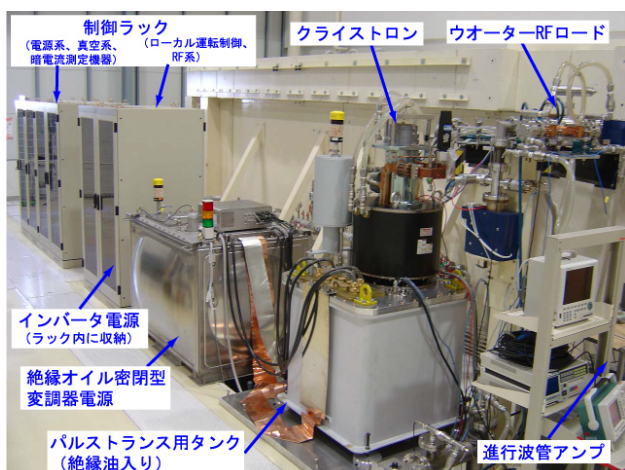


図 3: シールドルーム外側に設置された、Cバンドクライストロン、モジュレータ、制御ラック

2. セットアップ

図2に高電界試験テストスタンド内部の写真、図3にシールドルーム外側の写真を示す。

コンクリートシールドの厚さ（壁：1 m、天井：50 cm）は、他の加速管試験より予想される放射線量を推定して設計した。コンクリートブロックの大半は、SPring-8にてRF電子銃の試験に使用していたものを譲り受け、再利用している。また、放射線量が高くなると予想される加速管の軸方向には、局所的に鉛ブロック（5 cm厚×2列）を積み上げられる移動式の架台を複数用意した。

シールドルーム外側に、図3に示すように、Cバンドクライストロン（東芝E3746A）およびパルス電源^[3]（絶縁オイル密閉型の変調器電源、インバータ電源）、制御ラックを、順に並べて設置した。クライストロンの定格RF出力（ピーク強度 50 MW、パルス幅 2.5 μ s）を、導波管にてシールドルーム内に導く。RFをパルスコンプレッサー^[4]にて3.5倍に圧縮増強すると、最高150 MWのRFを加速管に供給でき、最高加速電界55 MV/mまで試験可能である。なお当初はパルスコンプレッサーを用いず、約30 MV/mまで試験を行なう。

入力RF用ドライバとして、進行波管アンプ（NEC C-band 750W-HPA）を用いている。伝送ロスを減らすため、また空冷3 kWもの排熱を逃がすために、このアンプだけはラックに収納せずにクライストロンの脇に置いている。現在、半導体増幅器を開発中である。

クライストロンへの印加電圧はインバータ電源からの充電電圧で決まるが、機器前面パネルでのローカル制御に加えて、PLCを用いた自動エージングコントロールシステムを開発し、今回の試験に用いる予定である。詳細を発表[5]にて紹介している。

冷却水は屋外に設置されたチラーから 28 ± 0.5 °Cの純水が供給され、各機器を水冷している。加速管は銅の熱膨張により空洞の周波数を正確に調整しているため、冷却水を温度調節して加速管の温度を±

0.1 °C以内で制御するシステムを開発し導入した。詳細を発表[6]にて紹介している。

制御ラックおよび各機器間の信号ケーブル、電源ケーブルや冷却配管等は全て地下ピットを経由して行かない、機能性と美観を重視した。また、ピットの底部に幅20cmの接地用銅板を走らせ各機器間を繋ぎ、ノイズの軽減に努めた。

3. 測定項目と測定機器

今回の試験において調査すべきことは、高電界によって生じる暗電流と放電である。これまで行われてきた実験^[7]を参考にし、以下の項目について測定を行なう予定である。

① 暗電流の量の測定

加速管の上下流に、ファラデーカップとしてブランクフランジおよびビームダンプ（鉄 32 cm厚×55 cm Φ ）を周囲より絶縁させ、電荷をピコアンメーターで測定する。また、加速管下流にはコアモニター（Fast CT）があり、時間分布を測定する。

② 暗電流のプロファイルの測定

加速管の下流に、デマルケストのスクリーンモニターを設置し、カメラにて観測する。

③ 暗電流の運動量分布の測定

加速管の下流に、二極電磁石を設置する。磁場を連続的に変え（最大 0.5 Tesla）、45°に偏向された電子の量を、ファラデーカップにて測定する。

④ 超音波センサーにて放電位置の測定

⑤ Qマスにて、放電に伴う放出ガスの質量分析

⑥ 放電に伴うX線の位置分布、時間分布の測定

加速管の横に平行に走るスライディングステージを設置し、ステージ上に、電離箱式のX線モニター、および光電子増倍管にシンチレーターを取り付けたものを置く。また、加速管に沿って化学線量計を置き、累積線量を測定する。

4. クライストロン単体での運転試験

4.1 ウオーターRFロードおよび導波管のエージング

図4に示すように、クライストロン直後にEコーナー、真空引口を挟んでウオーターRFロードを取り付け、クライストロンからRFを出力させた。

まず、繰り返し10 ppsにて、RFのパルス幅を100 nsに設定し、進行波管アンプの出力を最大にして、クライストロンの印加電圧をゆっくり上げていった。導波管内の真空度が 1×10^{-5} Paを越えないように（インターロックの接点は 2×10^{-5} Pa）注意しながら、-350 kVまで電圧を上げた。次に、RFのパルス幅を200 ns、300 ns、...にして、それぞれクライストロンの印加電圧を-350 kVまで上げていった。最終的に、定格出力であるパルス幅 2.5 μ s、印加電圧-350 kVまで達するのに約10時間ほどかかり、この間に導波管の真空跳ねで12回、クライストロン内の放電で3回、インターロックにより停止した。次に、

RFのパルス幅 $2.5\ \mu\text{s}$ のまま繰り返しを20 pps, 30 pps, ..., 60 ppsにして、同様に印加電圧をゆっくり上げていった。この過程の後半は[5]のエージングコントロールシステムを試験的に導入して自動運転し、動作状況を確認した。

4.2 RF出力の測定

RF出力の測定は、2種類の方法によって行なう。

まず、ウォーターRFロードでの水の温度上昇を測定し、冷却配管に直列に入れた電熱ヒーターによる温度上昇と比較（水量の誤差が測定に影響しない）して、水に消費されたパワーを算出する。冷却水の水量 30 L/min にて、60 ppsの時、温度差が 3.4°C であった。これより計算された平均電力は6.9 kW、パルス幅 $2.5\ \mu\text{s}$ で割ると、ピーク電力46 MWとなった。（※暫定的な測定値。今後正確に測定する予定である。）

同時に、導波管についている方向性結合器（結合度 $-60\ \text{dB}$ ）からRFを取り出し、ダイオード検波器で検波し（図4）、もしくはピークパワーメーターで測定し、波形を確認した。現在、パルス応答の良い検波器を用いて、高精度な測定の準備を進めている。

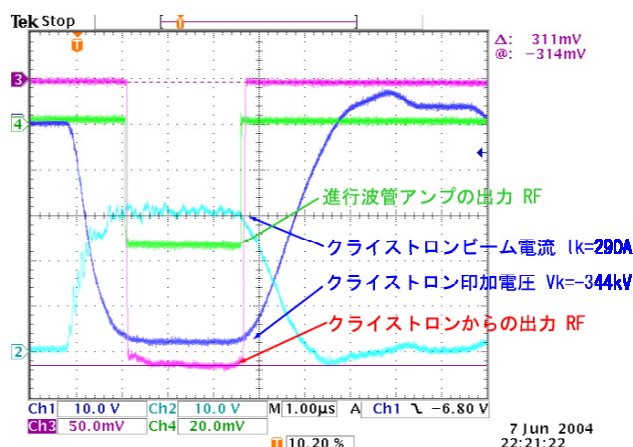


図 4: クライストロンのカソード電圧 (V_k)、ビーム電流 (I_k) および、検波した入出力RFの波形

4.3 パルストランスでの放電

クライストロンを今年2月に移設後、絶縁オイルタンク内にあるパルストランス周辺で、ちらちら光る小さな火花（1分に1回くらい）と、大きな放電（図5）がしばしば起こるようになってしまった。原因ははっきりしない。移設の際に油中にゴミを巻き上げたり、また、振動でトランスコアがずれたりした事が考えられる。トランスを分解しタンク内を洗浄した結果、大きな放電を起こすことはなくなり、小さな火花の頻度も下がった。実用上は問題なく使用できるが、留意する必要がある。



図 5: オイルタンク内、パルストランス付近での大きな放電。インターロックにより運転を停止した。トランス等には全くダメージはないことを確認し、運転を再開した。

5. 今後の予定

今夏より順次、加速管と接続し、加速管のエージングおよび暗電流の測定を開始する予定である。

謝辞

Cバンド加速管を製作している三菱重工業(株) 三浦禎雄氏には、テストスタンドの設計から建設に至るまで一貫して携わっていただいた。また、高電界試験の計画にあたって、KEK LinacグループのSバンド加速管試験、Cバンド加速管試験、Xバンドグループの加速管試験を参考にさせていただいた。

参考文献

- [1] URL: <http://www-xfel.spring8.or.jp>
文献[2]~[7]も含めてSCSS、C-band加速器に関連した文献はここで入手できます。
- [2] T. Shintake, et. al., "HOM-Free Linear Accelerating Structure for e+e- Linear Collider at C-Band", PAC'95, KEK-Preprint 95-48 (1995); 三浦禎雄 「Cバンドチョークモード型加速管の製作」 第28回リニアック技術研究会 p218-220 (2003)
- [3] 稲垣隆宏 「Cバンドクライストロン用 コンパクト密閉型変調器電源の大電力試験」 第28回リニアック技術研究会 p129-131 (2003)
- [4] 吉田光宏 「低熱膨張材を用いたC-band RFパルスコンプレッサーの大電力試験」 第28回リニアック技術研究会 p318-p320 (2003)
- [5] 尾上和之 「PLCを用いた自動エージングコントロールシステム」 本研究会
- [6] 高橋直 「Cバンド加速管の精密温調システム」 本研究会
- [7] H. Matsumoto, "Dark Currents" LINAC'96, KEK-Preprint 96-120 (1996); S. Yamaguchi, et. al., "High-Power Test of the S-band Accelerator Guide for the KEKB Injector Linac", APAC'98 (1998)