

PPM klystron operation in GLCTA

T.Saeki^{1,A)}, M.Akemoto^{A)}, T.Shidara^{A)}, T.Suehara^{C)}, N.Terunuma^{A)}, S.Tokumoto^{A)}, H.Nakajima^{A)}, H.Hayano^{A)},
T.Higo^{A)}, S.Fukuda^{A)}, H.Honma^{A)}, S.Matsumoto^{A)}, M.Yoshida^{A)}, K.Watanabe^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Ooho, Tsukuba-shi, Ibaragi-ken, 305-0801, JAPAN

^{B)} Faculty of Engineering, Tohoku Gakuin University

1-13-1 Chuo, Tagajyo-shi, Miyagi-ken, 985-8537, JAPAN

^{C)} School of science, The University of Tokyo

7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033, JAPAN

Abstract

High-gradient tests of X-band accelerator structure have been done with two solenoidal-type klystrons at Global Linear Collider Test Accelerator (GLCTA) facility in High Energy Accelerator Research Organization (KEK). In the GLCTA facility, a PPM-type klystron was installed and has been operated with dummy load from this April. In this article, the installation and the status of the PPM-type klystron operations are presented.

GLCTAにおけるPPMクライストロンの運転

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)では、Accelerator Test Facility (ATF)施設に併設して、Global Linear Collider Test Accelerator (GLCTA)施設を3年で整備する計画を実施中である。このGLCTA施設では、2003年末から大電力パルス・モジュレーター電源により2本のソレノイド型Xバンド・クライストロンをドライブし、Xバンド加速管の高電界試験を行っている。さらに、今年度末までに2本のPPM型クライストロンを増設し、そのRF出力を大電力高周波パルス圧縮装置SLED-IIにより圧縮し、Xバンド加速管に入力する試験を予定している。また、最終的には、ATFからのビームをGLCTA施設の8本のXバンド加速管に送り、ビーム加速試験まで行う予定である(文献[1])。

この発表では、この4月から1本の周期構造永久磁石収束型(PPM型)クライストロンと新しい大電力パルス・モジュレーター電源を増設して運転を行った状況を報告する。

2. GLCTA施設のレイアウト

図1に、アセンブリホール内におけるGLCTA施設のレイアウトと、GLCTA計画の全容を示した。図の中央上にGLCTA施設があり、右端にはATFのダンピング・リング、下にはライナックがみえる。中央の水色の枠がXバンド加速管ユニットを覆うシールドで、その上に見える2つの赤丸が、Xバンド加速管に使用している2本のソレノイド型クライストロンである。

図2に、GLCTA部分のレイアウトの拡大を示し



図1 ATFにおけるGLCTA計画のレイアウト

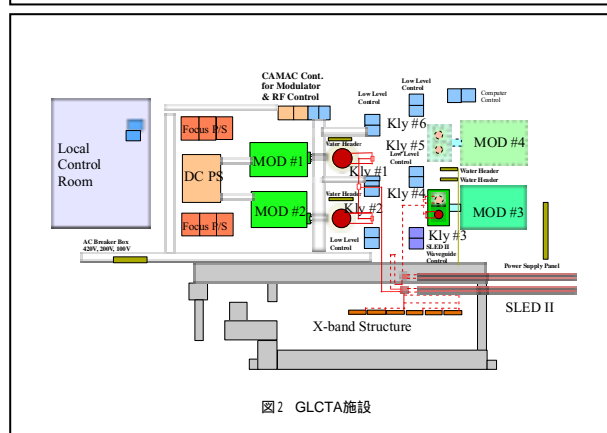


図2 GLCTA施設

た。中央に2つの赤丸で描かれた2本のソレノイド型クライストロンがある。これらは、それぞれ1号ステーション、2号ステーションと呼ばれており、

¹ E-mail: Takayuki.Saeki@kek.jp

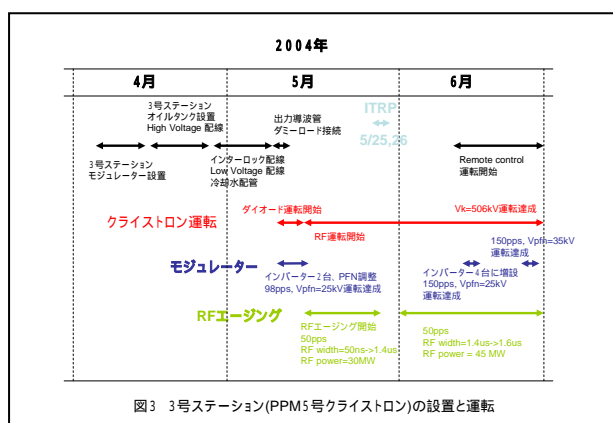
そのRF出力は導波管によりシールド内のXバンド加速管に送られ、高電界試験が行われている。

その右横に、小さい赤丸で描かれているのが、この4月から増設したPPM型クライストロンである。これは、2本のクライストロンが挿入可能なタンクに設置されており、1本は未挿入の状態であり、白丸でそれが示されている。このタンクの右に接続されているのが、大電力パルス・モジュレーター電源で、図中では緑の長方形に「MOD #3」として示してある。このタンクと電源の組を3号ステーションと呼んでいる。3号ステーションのパルストランス昇圧比は1:24で、クライストロンへの最大印加電圧は550kVである。3号ステーションに関するより詳しいパラメータは文献[2]を参照されたい。3号ステーションのPPM型クライストロンのRF出力は、ダミーロードに接続された状態で運転を行った。

3. 3号ステーションの設置

図3に3号ステーションの設置作業の進展状況を示した。4月の前半から、パルス・モジュレーター電源の設置（参考文献[3]）と同時に、パルス・モジュレーター電源のダミー抵抗による試験運転を行った。このパルス・モジュレーター電源は、東芝のインバーター電源を2台使用して、1台のPFNの充電を行い、サイラトロン・スイッチにより充電電荷をクライストロン用の昇圧トランスに送り込む。

4月の後半から、クライストロン用昇圧トランスを含む高圧配線が収められたオイルタンクの設置と、タンクへのPPM型クライストロンの挿入・設置を行った。続いて、5月の初めにはインターロック配線、低圧配線、冷却水配管などを完了した。5月半ばに、クライストロンの出力導波管とダミーロードの接続を終わると同時に、ダイオード・モードでクライストロンの運転を開始した。

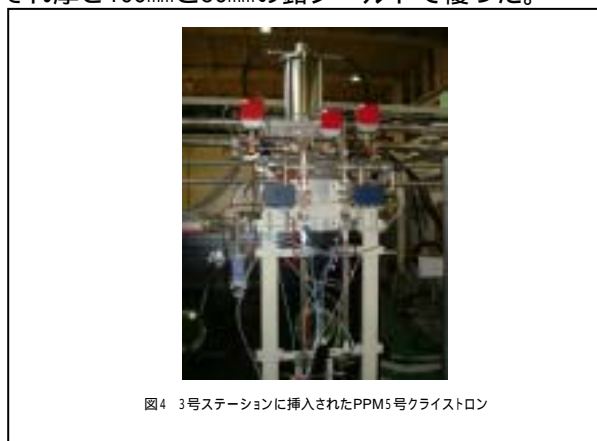


4. PPM型クライストロン

XバンドのPPM型クライストロン（文献[4]）は、これまで5種類の型が製作されており、それぞれ順番に、PPM型1号機から5号機と呼ばれている。今回、GLCTAの3号ステーションに使用されたのは、PPM型5号機である。

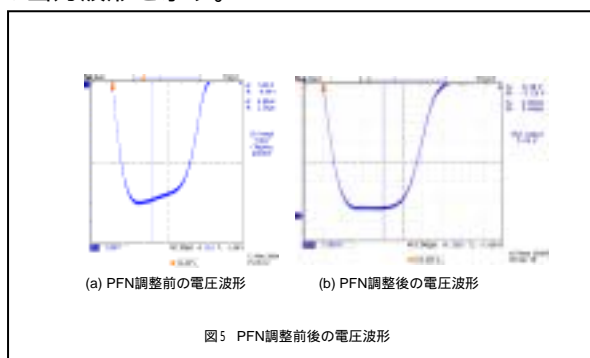
図4は、3号ステーションに設置されたPPM型5号機の写真である。3つの赤い箱は、RF出力窓の内側の真空を保つイオンポンプである。その下にある白色の門形サポートに載っている2つの青い箱がRF出力窓の外側の導波管の真空を保つイオンポンプである。その下のサポート内側に、2本のダミーロードが固定されている。

PPM型クライストロンは、収束用のソレノイドがないため、X線の発生量が多い。クライストロンの電圧を500kVとすると、最大800-900keVのX線が発生する。このため、コレクターと本体の周りを、それぞれ厚さ100mmと50mmの鉛シールドで覆った。



5. PPM型5号機クライストロンの運転

図3にあるように、PPM型5号機クライストロンのダイオード・モード運転を開始した後、パルス・モジュレーター電源の出力波形を平坦化するため、PFNのインダクタンス値の調整を行った。図5に、PFN調整前と調整後のパルス・モジュレーター電源の出力波形を示す。



さらに、パルス・モジュレーター電源の繰り返し回数の限界性能をテストした。その結果、PFNでの充電電圧値：V_{PFN}=25kVで、98ppsの繰り返し回数を達成した。次に、クライストロンにRF入力を行い、徐々にRF出力導波管とダミーロードのエージングを開始し、5月の終わりには、繰り返し回数50pps、RFパルス幅1.4us、RF出力パワー30MWを達成した。

5月25日、26日には、Linear Colliderの加速器技術の決定のために組織された委員会、International Technology Recommendation Panel

(ITRP) がKEKを訪問し、GLCTA施設の見学を行った。この際、ITRPのメンバーの前で、3号ステーションのデモンストレーション運転を行った。

6月に入り、さらに出力導波管とダミーロードのエージングを行いつつ、パルス・モジュレーター電源用のインバーター電源を4台に増強した。これにより、繰り返し回数150ppsにおいて、 $V_{pfn}=25kV$ を達成した。しかし、サイクロトンのトリガー回路のドライブ能力が不足しているために、それ以上充電電圧を上げられない事が判明したため、ドライブ能力の改善を行った。この結果、6月の終わりには、繰り返し回数150ppsで $V_{pfn}=35kV$ を達成した。この時の限界は、クライストロンのRF入力部近くの温度上昇であり、モジュレーター電源はまだ余裕がある状態だった。また、クライストロンの印加電圧についても、6月中に $V_k=506kV$ ($V_{pfn}=39kV$) を達成した。

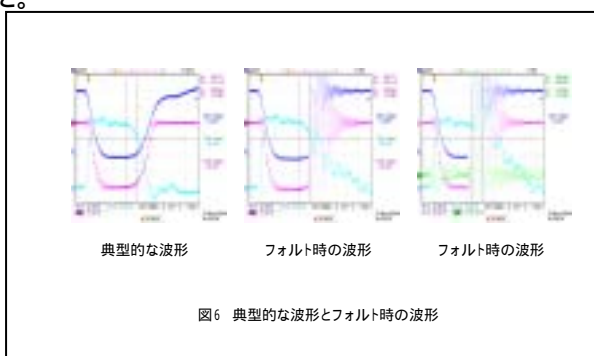


図6 典型的な波形とフォルト時の波形

図6に、典型的なクライストロンへの印加電圧波形と、クライストロンの電子銃付近での放電によるフォルト時の波形を示した。青とピンクで電圧波形 V_k が示され、水色で電流波形 I_k が示されている。

RF出力の導波管とダミーロードのエージングも順調に進み、6月の終わりには繰り返し回数50pps、RFパルス幅1.6 μs 、RF出力パワー47.5MWを達成した。図7にRF出力導波管に接続した方向性結合器から取り出した典型的なRF出力波形を示す。最も上にある緑の波形がRF出力波形で、パルス幅は1.6 μs である。その下の黄色で示された波形が V_k であり、水色で示された波形が I_k である。

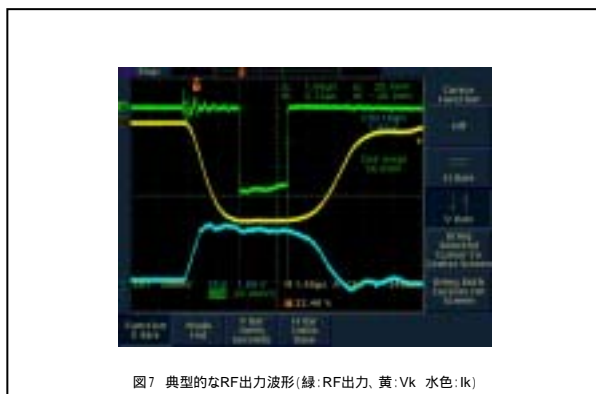


図7 典型的なRF出力波形 (緑:RF出力、黄: V_k 水色: I_k)

6. 今後の課題

ここまで記述したクライストロン印加電圧は、コンデンサー-C-dividerによる測定値であるが、その他にCTや、パルス・モジュレーター電源の出力の高圧プローブによる測定など、多数の測定を行った。これらの測定値は10%程度のばらつきがあり、 V_k を精密に測定したと言える段階ではない。今後、 V_k の測定手段の信頼性の向上を目指していく。また、RF出力パワーに関しても、減衰器、検波器など、幾つかの違うセットで測定したが、5%程度のばらつきがある。このため、さらに正確な校正を行わねばならない。また、ダミーロードの冷却水の流量と温度上昇を測定するカロリメーターの設置も検討している。これにより、より冗長なパワー測定を試みる。

現在のところ、クライストロンの印加電圧を上げていくと、RF出力波形が欠けるという現象が観測されており、この原因を解明する必要がある。これは、次のPPM型クライストロンを設計する上でも重要な課題である。

今後のGLCTAの中長期的な計画に関しては、文献[2]を参照されたい。

7. 謝辞

GLCTA 3号ステーションの立ち上げに関わった全ての方々に、謝辞を申し上げます。

参考文献

- [1] 明本光生, 他, “GLC XバンドRFシステム開発の現状”, Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July 30-Aug.1, 2003, pp.42-44.
- [2] 福田茂樹, 他, “KEK GLCTAにおけるRF源のR&D計画”, presented in this meeting.
- [3] 明本光生, 他, “GLCTAのXバンドクライストロン用パルス電源”, presented in this meeting.
- [4] Y.H.Chin and GLC Development Group, “Status of the GLC X-band Power Source R&D”, Proc. of the 2003 PAC, May 12-16, 2003, pp.479-481.