

R & D Plan of RF Source in KEK GLCTA

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

^{A)} High Energy Research Organization(KEK), 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801

^{B)} Tohoku Gakuin University, 1-13-1 Cyuuo, Tagajyo, 985-8537

^{C)} Tokyo University, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033

Abstract

R & D plan of GLCTA(Global Linear Collider Test Accelerator) is now under progressing. It is a three-year plan and this year is the second year. Mission of this plan is to built the one-unit system comprised of two 75-MW PPM klystrons, an SLED-II type pulse compressor and high gradient X-band accelerator structures: to demonstrate the high power generation, the high gradient test of the structure and the beam acceleration by this RF source. We have manufactured the pulse modulator, which has a capability of an applied voltage of 500kV, a pulse width of 2.5 μ s (half width) and a repetition rate of 150pps in maximum. In this spring an operation of the X-band PPM klystron started. In this paper, R & D plan of GLCTA RF source is described.

KEK GLCTAにおけるRF源のR&D計画

1. はじめに

KEKでは、2003年よりGLCTA (Global Linear Collider Test Accelerator)を3年間で整備しようという計画を実施中である。これはKEKのアセンブリホール(ATFが現在展開されている)にRF源を集約し、Xバンド加速管の試験まで行おうとするものである。これに関する最初の計画と意義については文献[1]に述べられている。概要としては、(1)今までKEK-AR南棟に設置されていた2台の大電力パルス電源と電磁石集束Xバンド50MWクライストロンを、アセンブリホールに移設する。その後、2台のクライストロン電力を合成し加速管入り口でGLC計画の仕様である65MWを投入できる試験ベンチを作ること。(2)新たに4台の大電力クライストロンを運転できるベンチを2ヶ所作り、それぞれクライストロンのプロセッシングやSLED-IIの試験を行う。(3)その後、所定のRFを加速管にフィードし、ATFリングからのビームを用いて加速試験を行う、という3つの計画からなっている。(1)に関しては、GLCTA試験ステーション1号機、2号機と称して、整備が終わり2台のクライストロンからの合成電力を加速管に供給し、既にプロセッシングを開始している^[1]。(2)に関しては、GLCTA試験ステーション3号機を新規で製作することになり、電源の半分(クライストロン1台分)がまず着手された。2004年4月から組み立て開始、5月中旬には、GLCの常電導か超伝導かという技術選択を勧告する役割を持つITRP (International Technology Recommendation Panel)のKEK査察に向け、運転を開始した。(3)に関しては、とりあえず、3年計画でベンチの整備を行った後で、出来る所までやろうということになると思われる。少なくとも3

年間で、GLCで必要とされるSLED-IIを用いて、Xバンド帯の大電力RFパルス600MWを導波管に通す実証試験までは行うことを必須の目標としている。本稿では、KEK GLCTAにおけるRF源のR&Dということで、GLCTA-第3号ステーション、第4号ステーションに関する、現状と計画について述べる。

2. GLCTA 3 及び 4 号ステーションの概要

ここではGLCTA-3号及び4号ステーションの概要について述べる。GLCTAはKEKアセンブリホール内でATFに隣接するエリアに位置し、将来はATFからの引き出しラインで、GLCTAにビームが引き込むことが可能な場所になっている^[1]。図1に更にGLCTA部分の詳細図を示した。現在GLCTA-No.3のクライストロン1台分が出来ており、今年度同ステーションのもう1台のクライストロン分及びGLCTA-No.4のクライストロン1台分が製作される。今年度はXバンドPPMクライストロン2台を少なくとも出力50MWまでエージングを行う。SLED-IIのコンポーネントも同時に今年度製作を行い、2005年度春にはこのクライスト

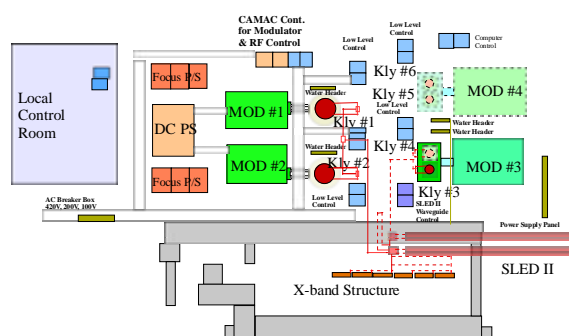


図1 GLCTAの配置図(アセンブリホール)

¹ E-mail: shigeki.fukuda@kek.jp

表1 GLCTA-#3 電源の仕様

モジュレータタイプ	ラインタイプパルサー
クライストロン印加電圧	550kV (Max)
パルス幅(電圧)	2.5 μs(平坦部)
パルス幅(RF)	1.6 μs
パルス繰返し	150pps
(最大時; 4台の32kJインバータ電源駆動)	
最大平均電力	約190kW
パルストランス昇圧比	1:24
使用サイラトロン	CX2410X(又は同等品)

1台の筐体あたり、8台のインバータ電源、2台のサイラトロン、2台のPFNで2本のクライストロン駆動。

ロン2本を用いてSLED-IIでRF電力の圧縮試験を行う予定である。図2にGLCTAにおけるスケジュールを示す。

このGLCTAでは、クライストロンへ電力を供給するパルス電源は通常のラインタイプ型パルス電源を用いている。これは、GLCで提案されているIGBTを用いたInduction型のパルス電源は現在のところR&D的な段階であり、クライストロンやRFコンプレッサーの評価とは分けて試験すべきであるという考えから来ている。電源の仕様は表1に示す。この表からもわかる通り最大電力は大きい、クライストロンのコンディショニング段階では小さいデューティの運転で十分である。

以上を考慮し、DC電源部は、現在入手しやすい、32kJのインバータ電源を必要に応じて段階的に増強し、最大8台並列で運転することにより、最大定格を得ることを考えている。インバータ電源の選定はKEKで共通のリソースであることが故障時に有効であると考え、KEK電子陽電子ライナックのCバンド化計画で使用された東芝製の32kJインバータ電源を採用した^[2]。

2台のクライストロンを駆動するには1ステーションあたり2台のPFNとサイラトロンを持った電源を製作する。これも段階的に増強する。クライストロン・ソケットとしては、SLED-II用2パックを考え、2台のクライストロンが並んでセット出来るタンクとなっている。サイラトロンは、故障時に予備品がすぐ準備できるようにKEK電子陽電子ライナックで使用されているものと同様のものを使用する。その結果パルストランスの昇圧比は1:24となっている。これにより最大550kVまでクライストロンに印加可能である。

Xバンドクライストロンは電磁石収束による電力が膨大になるために、それに変わる周期構造永久磁石収束型(PPMクライストロン)を開発中である。モデル1号機から5号機まで製作され、短時間の運転

では開発目標である75MWピーク出力が達成されている^[3]。現在の目標は、長時間の安定した運転であるが、そのためには解決しなければならない点がある。ひとつは、50MWを越えるとパルス幅が欠ける不安定な現象が観測されること、また出力のセラミック窓がエージングによっては破損する事があることなどである。また、定格のRF出力を出そうと思うと、そのRF電力を吸収する無反射終端の開発も必要である。これらは現在進行中である。

今年度の目標としてはすでに製造されたPPM-4号機と称される2本の未試験のクライストロンをGLCTA-3号ステーションでエージングしてクライストロンとして仕上げることである。ビーム管としては印加電圧500kV、電圧パルス幅2.5μs、繰返し150ppsを、RF出力としてはRF先頭電力50MW以上、RFパルス幅1.6μs、繰返し50ppsを目標としている。ここで仕上げたクライストロン2本を2パックとして、来年度SLED-IIの試験に供する予定である。

GLCTA-4号ステーションも、3号ステーションと基本的に同じ思想と同等の仕様で製作を行う。ただしGLCで目標とするクライストロンの最大出力は75MWであるので、これを安定に達成させる為には90MW程度の出力までのエージングが必要であるということ、それに対応できるように最大クライストロン印加電圧は600kVまで可能なように仕様変更した。3号ステーションと同じ方針で、クライストロン1台分の電源とソケットを今年度製作する予定である。ここは将来にわたってクライストロンのエージングステーションとして稼働する。

3. GLCTA-3号ステーション現状

GLCTA-3号ステーションは2004年4月から組立が始まり、5月中旬からPPMクライストロン5号機を据え付けて試験を開始した。図3に据え付けたPPM5号機の写真を示す。最初はシステムの虫だし等も兼ねてビーム試験から始めた。当初は繰返しを12.5-25pps程度にして、インバータ電源1台駆動でクライストロンへの印加電圧を500kVまで通電した。モジュレータのチェック、制御系のチェック、低電力RF系のチェック等すべて同時進行で行い、5月下旬のITRPの視察に向けて準備を行った。この間24時間連続運転で2週間ほど、クライストロンの2極管としての試験、大電力RFによる導波管系のプロセッシング等を行った。

ここで使用したインバータ電源は第2章で述べたように、KEK電子陽電子入射器Cバンドステーションで既に1年間の長期連続運転の経験があるが、こ

FY	month	2003				2004				2005			
		4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3
#3-1	Modulator#3-1	Order	Manufacturing				Kly. Test	SLED-II 1-75MW KLY	SLED-II	SLED-II	Feed Power From SLED-II to Structure		
	High Power RF					Man.	Kly. Test	50MW-50MV Single High	75MW-75MV Over High				
#3-2	Modulator#3-2												
#4-1	Modulator#4-1					Manufacturing							
	High Power RF								Kly. Test		Kly. Test		
#4-2	Modulator#4-2									Man.			
	High Power RF										Kly. Test		

図2 2003年からの3年計画スケジュール

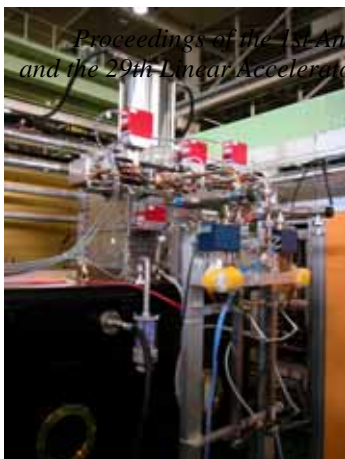


図3 GLCTAにおけるPPMクライストロン #5号機と接続された導波管負荷

の間さまざまなトラブルが発生し、しばしばこの電源内部で用いられているIGBTが短絡する現象があった。この解決に1年間メーカーと協同で対策を行ってきた。その改良版がGLCTAの立上げ過程で採用されている。また並列運転制御はGLCTAで始めて試験された。最近の運転では、4台のインバータ電源を並列運転することにより、1台のクライストロンで印加電圧約450kV、印加電圧パルス幅2.5 μ s、繰返し150ppsの運転が達成された。図4に4台並列運転用にインストールされた電源の正面写真を、図5にこのときのパルス電源の充電波形(マスター電源、スレーブ電源)及びPFN充電電圧を示した。なおこの試験での、電圧の上限は負荷であるクライストロンの耐圧によって規制されている^[4]。

PPMクライストロン5号機の運転に関しては、当初AR-南棟でエージングされていたものが耐圧的に問題があるために再度GLCTAで試験を開始したという経緯があったことと、試験装置が立ち上がったばかりということで十分に試験がなされたとは言いがたい。再開後やはり耐圧上の問題が見出され、電子銃放電によるFault Rateが高いこと、またRF的な不安定(Pulse Shortening)が観測されている。GLCTAにおける試験については文献[5]に報告されている。現在の所、印加した最大電圧は506 kV、RF出力では50ppsで47.5MWまで確認した。今後は、7月まで不安定に関する調査を行い、前述の通り2本の



図4 4台のインバータ電源がインストールされた電源の内部写真

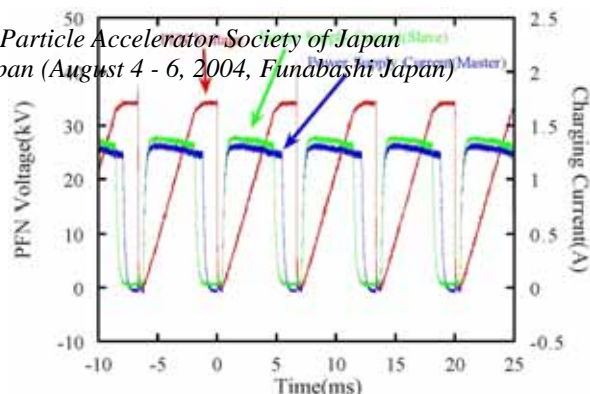


図5 4台並列、150pps運転時の充電電流波形及びPFN電圧波形。

新クライストロンのプロセッシングを9月から開始する予定である。

4 . GLCTA-SLED II

来年度春から目標としているSLED-II試験は現在、2段階による試験を考えている。第一段階はシングルライト導波管を用いた50MW+50MW合成である。これは導波管への大電力投入がKEKで始めてである事、安定なクライストロン出力としては初めは50MWが妥当であろうということ、及びダブルライト導波管の開発に時間を要することが背景にあるためである。この試験と平行して必要な開発は進め、第二段階として定格である75MW+75MWの合成をダブルライト導波管で進める予定である。また、KEKで提案されたDLDSについても同時に検討を進めたい。

5 . まとめ

KEKにおけるGLCTAは3カ年計画の2年目に入り、昨年開始された加速管の大電力試験に続き、RF源の試験ベンチが稼動し始めた。また、今年度拡充分も進行中である。実用的なクライストロンの安定運転、SLED-IIの構築に向けてR&Dが進んでいる。

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”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July 30-Aug.1, 2003, pp.42-44.
- [2] 中島啓光, 他, “小型パルス電源の特性と今後の課題”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July 30-Aug.1, 2003, pp.48-50.
- [3] Chin, Y. H. 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.
- [4] 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.
- [5] 佐伯学行, 他, “GLCTAにおけるPPMクライストロンの運転”, presented in this meeting.