

KLYSTRON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR J-PARC LINAC - Present Status of Test and Operation -

Masato Kawamura^{1,A)}, Shozo Anami^{A)}, Yuji Fukui^{A)}, Katsuhiko Mikawa^{A)}, Eiichi Kadokura^{A)}, Seiya Yamaguchi^{A)},
Etsuji Chishiro^{B)}, Hiroyuki Suzuki^{B)}, Toshihiko Hori^{B)}, Masayoshi Yamazaki^{B)},
Yuichi Yumino^{C)}, Hiroshi Kubo^{C)}

A) KEK, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

B) JAEA, 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

C) Hitachi,Ltd., Information & Control System Div., 3-1-1 Saiwai-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 317-8511

Abstract

The Accelerators for the High Intensity Proton Accelerator Facility Project (J-PARC) are now under construction in the Tokai area. The klystron power supply systems for the J-PARC Linac were installed by this February, and have been tested and operated. This paper reports the present status of the systems.

J-PARCリニアック用クライストロン電源システム 試験および運転の現状

1. はじめに

大強度陽子加速器計画(J-PARC)の加速器は東海地区(JAEA内)で建設が進んでおり、特にリニアックは3GeVおよび50GeVリングに先行している。リニアック用クライストロン電源システム^{[1]-[4]}は、これまでに機器の搬入・設置、ケーブル等の配線・配管を全て終了し、大電力試験の大部分を終了している。今年2月から6月にかけて、当クライストロン電源システムを用いて、324MHzクライストロン23台の試験を行なった^{[5][6]}。

本報告では、当クライストロン電源システムの全体構成と仕様、建設経過、大電力試験の経過の他、クライストロン試験における運転状況や今後の予定などを述べる。

2. J-PARCリニアック用クライストロン電源システム

2.1 全体構成と仕様^{[1][2]}

当クライストロン電源システムは、6台のカソード高圧直流電源(以下、“HVPS”と略記)、21台の断路器盤(DSCON)とM・アノードパルス変調器(MANOD)、およびそれらを制御する制御盤で構成されている。図1に全体構成の概略図、図2(次ページ)に、HVPS2~5号機の回路を例とした機器構成の概略図を示す。実配線では、HVPSを構成する各機器間、およびクローバ装置~DSCON間に接地用の銅板が敷設され、クライストロン高圧電源用の保安接地極^[7]で接地されている。システムの制御はPLC

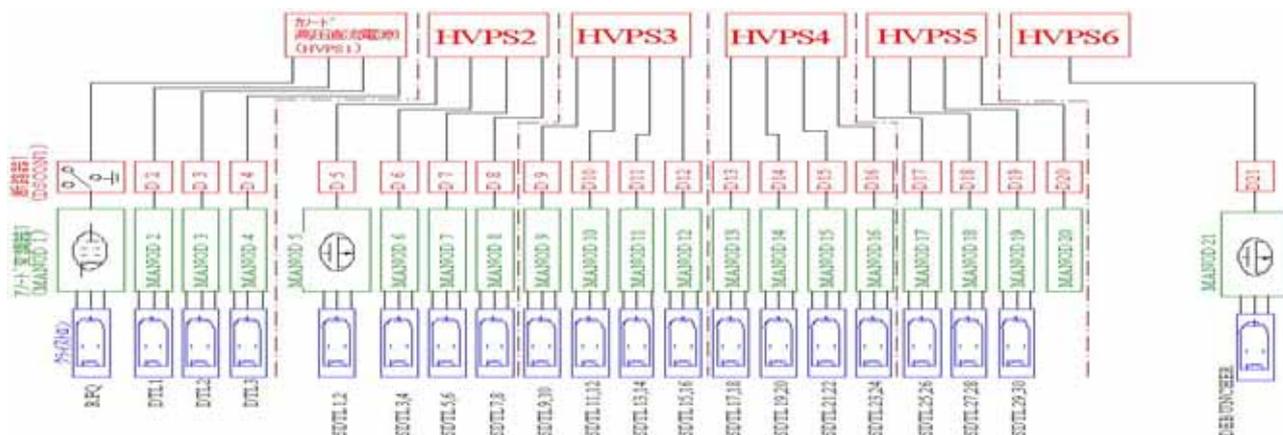


図1：クライストロン電源システムの全体構成

¹ E-mail: masato.kawamura@j-parc.jp

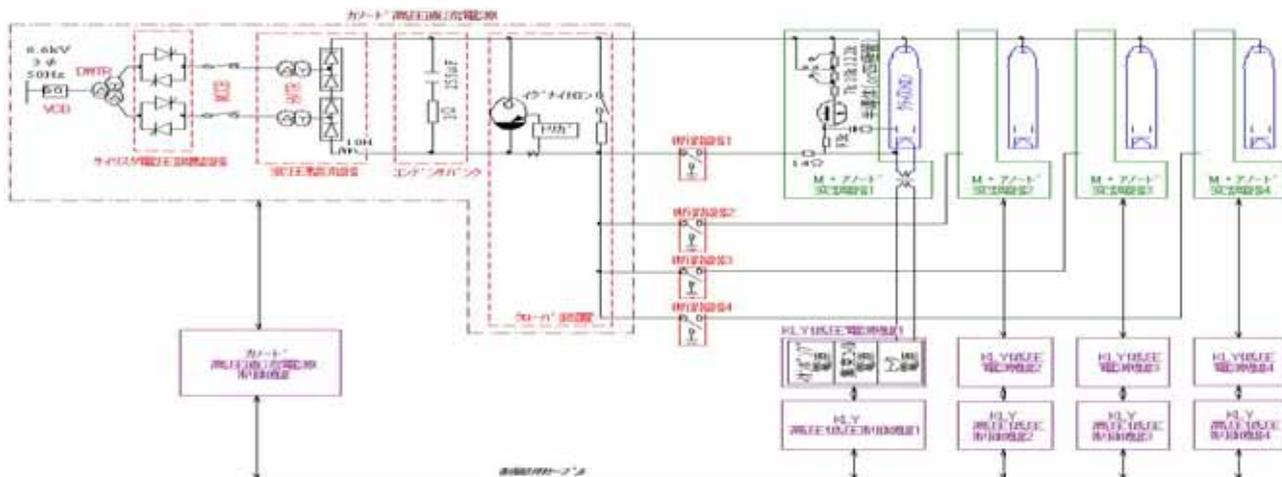


図 2 : システム機器構成の例 (HVPS2~5号機の回路)

を用いている。PLCはコントロール1(高圧、低圧電源のON/OFF/Resetの動作、電圧・電流値の設定、各種接点信号(Interlock、各機器のStatus)の把握)とコントロール2(コントロール1の上位に位置づけ、アナログ信号の処理、システム全体の把握など。ネットワークで更に上位へつながらせる)の2つの系に分けられている。各系の機器は5カ所(図2のカソード高圧直流電源制御盤と4つのKLY高圧低圧制御盤)にあり制御用光ケーブル(FAバス)でループ状に繋がっている。

HVPS2~5号機、MANODの仕様を表1、2に示す。HVPS1号機は定格80kV 1回路と110kV 3回路で4負荷並列運転ができる。HVPS6号機は定格80kVであり、当面1負荷運転を行なうが、コンデンサの増設により電圧サグ5%の4負荷並列運転ができる。

MANODのスイッチング素子は現在、MANOD1~4号機(HVPS1の回路にある)が四極管(TH5188、Thomson CSF製)、それ以外は全て半導体素子(FETのstack module、パルス電子技術(株)製)である。四極管と半導体素子では、必要な機器や制御方法などが異なるため、現在の構成になっている。

2.2 建設経過と大電力試験の経過

つくば地区(KEK内)では、昨年10月に運転を終了し、今年2月までに全機器を東海地区へ移設した。

東海地区リニアック棟では、昨年4月から搬入・設置およびケーブル等の配線・配管を開始し、今年3月までに終了した。図3(次ページ)にリニアック棟内に機器が設置されている様子を示す。

設置、配線等が終了したシステムは随時シーケンス試験、耐電圧試験等を行ない、今年3月までに全数分を終了した。一部のMANODで絶縁油中の制御回路が不調となり、改修を行なった。近いうちに全数分の改修が必要な状況である。

今年1月からHVPS3~6号機入力用の三相6.6kV受電が開始され、3月までに無負荷電圧試験、負荷短絡試験(クローバ動作試験)を行なった。クローバ動作時に、クライストロン高圧電源室内のケーブルラックとそこに敷設された配線との間にアークが発生したため、線を追加して接地を強化した。

表 1 : カソード高圧直流電源(HVPS)2-5号機の仕様^[2]

項目	最大定格	Comment
クライストロン数	4台	* パルス電流平均値
出力電圧	110kV	
出力電流	6.3 A	
出力電力	693 kW	
電圧サグ	5%	
コンデンサ容量	25.5 μ F	

表 2 : M・アノードパルス変調器(MANOD)の仕様^[2]

項目	定格
アノード電圧	カソード電圧の70~90%
スイッチ素子電流	1A
アノード電流	100mA以下
立上り時間	50 μ s以下(10-90%)
立下り時間	150 μ s以下(90-10%)
パルス幅	100~800 μ s
スイッチング素子	四極管または半導体素子
逆バイアス電圧	-2,-2.5,-3kV(可変、対カソード)
ヒータ入力	AC300W
カソード	14
シリーズ抵抗	

3 . クライストロン試験のための運転

今年2月から6月にかけて、324MHzクライストロン23台の試験を行なった。小電力RF、大電力RFの詳細やデータ処理、試験結果等については本研究会の他の報告^{[5][6]}を参照されたい。本報告ではクライストロン試験に関して、電源システムの運転状況について述べる事とする。

運転した回路は図1(前ページ)のHVPS4~DSCON16、MANOD16の回路及びHVPS5~DSCON17、MANOD17の回路であり、各HVPSの1負荷運転である。回路構成をこのように設定したのは、2台のクライストロンを別々の電源システムで試験し、得られた試験データを独立に評価できるようにするためである^[5]。



図3：(上)クライストロン(Kly)高圧電源室、手前より奥へHVPS1～6号機が並ぶ。(下)Klyギャラリー、左手前より断路器盤、M・アノードパルス変調器、324MHzクライストロン。

電源システムの実負荷試験は、HVPS5号機が今年2月、4号機が今年3月に各々実施され、それに引き続き運転を行なった。クライストロン試験開始時に真空悪化が殆んど見られなかったため短時間で高電圧まで上昇させた、データ取得の為頻りに電圧を変えた、Klyカソードで測定される電圧を110kVとするためHVPS電圧設定値を112kV以上まで上げたなど、特殊な運転だった。図4にHVPS5号機での試験時の波形を示す。総運転時間はHVPS4号機が約370時間、5号機が約500時間だった。

三相6.6kV入力と出力DC電圧の時間変動を比較した。三相6.6kV入力をトランスデューサで測定したところ常時大小の変動が見られるのに対し、出力DC電圧の変動は0.2%以下に抑えられる事が、複数の測定方法で確認された。

HVPS4号機AVRのマスターコントロール回路基板内で素子が壊れ、高電圧が出力されない現象が1度あり、基板を交換した。また、HVPS5号機では一時期、1日1度クローバ動作によりHV downする現象があった。これについては今後も観測と、対策の検討とを継続する必要がある。

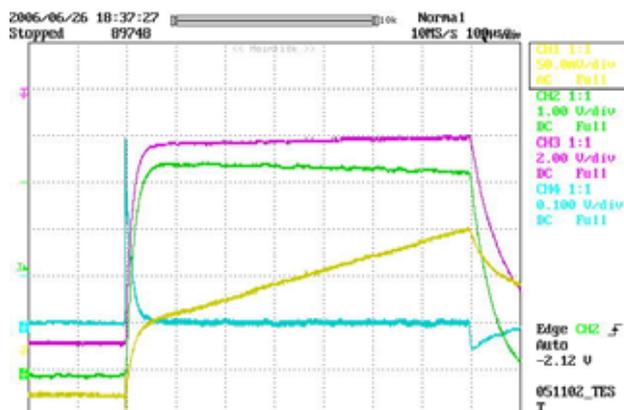


図4：クライストロン試験時の波形。設定110kV、700 μ s、50pps。アノード電圧(赤、20kV/div.)、Klyビーム電流(緑、10A/div.)、カソード電圧(AC coupling、黄、0.5kV/div.)、アノード電流(青、1A/div.)。横軸100 μ s/div。

4. 今後の課題と予定

本報告でこれまでに述べた課題の検討などは今後も継続する。また、過去の研究会Proceedingで述べた種々の不具合(MANOD内部の油中放電によるHV down、高圧ケーブルの短絡、等)はこれまで発生していない。

HVPS1、2号機の無負荷電圧試験、負荷短絡試験(クローバ動作試験)は入力用の三相6.6kV受電開始の後、8月下旬に行なわれる予定である。

クライストロン試験を行なった2回路以外の実負荷運転は、9月以降の加速空洞エージングの際に行なわれる。また、4負荷並列運転やクライストロン20台の同時運転は全加速空洞のエージングが終了した後となる。

リニアック全体制御に対応するため、PLCで若干の修正が必要となっている。現在、方針は決まっておらず(コントロール1、2間でやり取りする信号の追加、コントロール2のプログラムの修正など)、近日改修作業が行なわれる予定である。

参考文献

- [1]川村 他、Proc. of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan(2005), pp.293-295.
- [2]川村 他、Proc. of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan(2004), pp.287-289.
<http://lam29.lebra.nihon-u.ac.jp/WebPublish/4P32.pdf>
- [3]E.Chishiro et al., Proc. of PAC05(2005), pp.1123-1125.
<http://epaper.kek.jp/p05/PAPERS/WPAT008.PDF>
- [4]山口誠哉、原子核研究、Vol.50, No.4(2006), pp.27-31.
- [5]山崎正義 他、本研究会、WP41
- [6]福井佑治 他、本研究会、WP45
- [7]千代悦司 他、本研究会、FP74