

KLYSTRON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR J-PARC LINAC -- Report of Construction Status and 60MeV Linac Operation --

Masato Kawamura^{1,A)}, Shozo Anami^{A)}, Yuji Fukui^{A)}, Katsuhiko Mikawa^{A)}, Eiichi Kadokura^{A)}, Chikashi Kubota^{A)},
Masaaki Ono^{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)} JAERI, 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

^{C)} Hitachi, Ltd., Information & Control Systems 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 have been installing since this April. This paper reports the construction status of the systems, and the operation of the systems for the 60MeV Linac in the Tsukuba area.

J-PARC リニアック用クライストロン電源システム — 建設状況および60MeV施設運転の報告 —

1. はじめに

大強度陽子加速器計画 (J-PARC) の加速器^[1] は東海地区 (JAERI内) で建設が開始され、特にリニアックは3GeVおよび50GeVリングに先行して建設が行われている。リニアック用クライストロン電源システム^{[2]-[7]} は東海地区リニアック棟にて今年4月より機器搬入・設置およびケーブル等の配線・配管が行われている。つくば地区 (KEK内) 60MeV陽子リニアック施設では今年2月にビーム試験が終了し、6月現在SDTL空洞のエージングやRFデジタル・フィードバック試験が行われている。

本報告では当クライストロン電源システムについて、東海地区の建設状況と、つくば地区の運転で得られた結果等を述べる。

2. クライストロン電源システムの概要

現在建設が行なわれているリニアック用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) と、21台の断路器盤、M・アノードパルス変調器 (アノード変調器)、およびそれらを制御する制御盤で構成される。

HVPS6台の内、上流より1号機から5号機まではクライストロン4台を並列運転する性能を持ち、最下流の6号機はクライストロン2台を並列運転する性能を持つ。表1にHVPS2~5号機の仕様を示す。カソード高圧直流電源制御盤 (HVCTL盤) はHVPS1台に対し1台ずつ対応する。これらはリニアック棟クライストロン高圧直流電源室 (Kly HV電源室) 内に設置される。

断路器盤、アノード変調器はクライストロン1台

表1: カソード高圧直流電源2~5号機の仕様^[7]

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

表2: M・アノードパルス変調器の仕様^[7]

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 μs以下(10-90%)
立下り時間	150 μs以下(90-10%)
パルス幅	100~800 μs
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 シリーズ抵抗	14 Ω

につき1台ずつ対応する。断路器盤は21台、アノード変調器はスイッチ素子として、四極管を用いたもの6台、半導体を用いたもの16台、計22台を製造した。表2にアノード変調器の仕様を示す。アノード変調器22台のうち21台をクライストロンギャラリー (Kly ギャラリー) に設置してビーム加速運転に使

¹ E-mail: masato.kawamura@j-parc.jp



図1. 東海地区リニアック棟における建設状況
(’05年6月11日撮影)

(左上) Kly HV電源室内、HVCTL盤、クローバ盤、コンデンサバンク等。天井部にケーブルラックが見える。(左下) 同室内、高圧受電盤、変圧整流器、降圧変圧器等。

(右上) Kly ギャラリー内、手前より断路器盤、アノード変調器。奥に19インチラック列 (KLCTL盤、KLLPS盤、他) および導波管類が見える。(右下) Kly ギャラリーに並んだ19インチラック列。

用し、1台を予備、またはクライストロン準備室 (Kly 準備室) にてクライストロン、導波管などのテストに使用する。Kly ギャラリーでは、HVPS1号機から5号機までの各1台に対して断路器盤、アノード変調器が各4台 (1~20号機) 並列に配線され、クライストロン19台を運転し、RFQ、DTL1~3、SDTL1~30の各加速空洞に大電力高周波を供給する (断路器盤、アノード変調器の各20号機には、必要に応じてテスト用としてクライストロンを接続する)。HVPS6号機に対して断路器盤、アノード変調器各1台 (21号機) が配線され、クライストロン1台を運転し、デバンチャーに大電力高周波を供給する。

クライストロン高圧・低圧電源制御盤 (KLCTL盤) とクライストロン低圧電源盤 (KLLPS盤) は断路器盤、アノード変調器およびクライストロン各1

台につき1台ずつ対応する。これらはKly ギャラリーに他の19インチラック (全体制御 (MPS等) 用、基準信号用、空洞用、ビームトランスポート用、low level 高周波用、など) とともに配置される。

3. 東海地区リニアック棟における建設状況

図1に東海地区リニアック棟におけるクライストロン電源システム建設の現状を示す。

リニアック棟への機器の搬入・設置作業は、今年2月末につくば地区から一部の機器の移設・仮置きが先行して始まった。4月初めから作業が本格化し、JAERI内の他の建物に保管されていた全ての機器の搬入・設置が行われた。つくば地区からの移設につ

いては、60MeV施設で現在も運転が行われているため、運転スケジュールを考慮しながら随時東海地区へ移設し、今年10月頃に全ての機器の移設を終了する予定である。

絶縁油タンクを持つ機器をリニアック棟内で運転するには、消防法の規定により密閉構造にする必要がある。クローバ盤は6月下旬に現地にて改修作業を行う。アノード変調器は、5月初めより製造業者の工場へ順次搬出し、密閉化タンクの外付け作業、および絶縁油タンク内の耐電圧不良対策^[4]作業を行った後搬入し、正規の位置に設置している。6月14日の時点で全22台のうち、14台が改修・設置済み、4台が改修中である。

現在は、ケーブルラックの敷設と、グランド回路用銅板（クローバ動作時に、大電流が瞬間的に流れるために生じるグランド電位の跳ね上がりで機器が破損するのを防ぐ為、Kly HV電源室内の機器間、およびクローバ盤（Kly HV電源室内）～断路器盤（Kly ギャラリー内）間に銅板を敷設してグランド回路のインピーダンスを下げる）の敷設を行っている。

4. つくば地区60MeV施設運転の報告

HVPS1号機は今年10月までつくば地区60MeV施設で運転を行う予定であり、6月14日までの運転時間（HVon時間）は3533時間である。HVPS2号機は4月末に東海地区へ移設され、運転時間は873時間だった。

昨年9月下旬、アノード変調器とクライストロンのMアノード電極間をつなく高圧ケーブル（ケーブルRG-220/u、端末部Isolation Products, Inc.製D-117-BA）が短絡した。ケーブルを分解して確認したところ、過去に2度経験した短絡^{[5][6]}と同様、同軸ケーブルの外導体が折り込まれ真鍮製のケーブルハブと接する部分に近い箇所、ポリエチレン製絶縁体が絶縁破壊を起こしていた。この部分にケーブルの曲げストレスがかかり、外導体と絶縁体とが密着せずに空間が生じ、その部分の電場が上昇して絶縁破壊を起こすものと思われる^[5]。現在、東海地区リニアック棟で使用するために開発した、外部導体と絶縁体との間に半導電層を挿入したケーブル（フジクラ製NH-RG-220/U・LN）を60MeV施設で試験的に使用している。新規ケーブル（NH-RG-220/U・LN）の端末処理を行う際、半導電層がある分旧ケーブル（RG-220/u）と構造が異なっているのと、ケーブル製造時の製作誤差があるために、真鍮製ケーブルハブの一部分を旋盤で削って新規ケーブルに合わせる必要がある。60MeV施設ではこれまで、このケーブルを用いて200時間を超える運転を行っている。今後は移設までの間運転を継続し、その後ケーブルを分解して内部変化の様子を調査する予定である。

アノード変調器絶縁油タンク内の耐電圧不良対策において、電極として20D2Vの同軸状部品（20D2Vの同軸ケーブルを分解し、中心導体とポリエチレン

製絶縁体のみを取り出したもの）を用いている^[4]が、中心導体の端末にタップを切つて他の電極や電線をナットなどで直接締め付けると、ポリエチレンとの同軸構造であるため十分な締め付けが出来ない。その結果電源の運転中に締め付け部分が外れ、外れた箇所までコロナ放電が発生し、タンク内の絶縁油が黒く変質する不具合が発生した。対策として、当該箇所に使用する新たな部品を開発して追加した。

5. 今後の予定とまとめ

東海地区リニアック棟では、7月初めより冷却水が使用可能となり、7月下旬より機器用の電気設備が使用可能となる。クライストロン電源システムは8月以降順次試験を行う予定である。

当電源システムはPLCによる制御^{[7][8]}を行っており、このPLCは更にCTL1（機器のON/OFF/Reset動作の指令、各種接点信号の把握）とCTL2（CTL1の上位に位置、ネットワークで更に上位と接続）に分かれているが、つくば地区60MeV施設での運転と東海地区リニアック棟での運転では仕様が一部異なる（Remote/Localスイッチの仕様変更、ヒータ電源制御をCTL2からCTL1へ移す、等）ために変更が必要である。

試験が終了したシステムを用い、9月から来年4月初めまで324MHzクライストロン受入試験の為に運転を行う。ビーム加速運転時はクライストロン毎に要求される出力電力が異なる^[2]為、試験結果からクライストロンの特性に合わせた配置を考え、更にアノード変調器内の抵抗分圧比の調整を検討する。

その後RF調整の為に運転を経て、来年6月中旬より全体コミッショニングの為に運転を行う予定である。

参考文献

- [1]“Accelerator Technical Design Report for J-PARC”, Accelerator Group, JAERI/KEK Joint Project Team, KEK Report 2002-13, JAERI-Tech 2003-004, J-PARC03-01, 2003.
<http://hadron.kek.jp/member/onishi/tdr2003/index2.html>
- [2]同、Chap.3.1.3.1
<http://hadron.kek.jp/member/onishi/tdr2003/chap3/3.1.3.1.pdf>
- [3]同、Chap.3.1.3.4
<http://hadron.kek.jp/member/onishi/tdr2003/chap3/3.1.3.4.pdf>
- [4]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>
- [5]E.Chishiro, submitted to Proc. of PAC05.
- [6]川村 他、Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan(2003), pp.369-371.
- [7]川村 他、Proc. of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan(2001), pp.204-206.
<http://conference.kek.jp/lam26/LAM26PDF/1P-27web.PDF>.
- [8]門倉 他、Proc. of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan(2004), pp.564-566.
<http://lam29.lebra.nihon-u.ac.jp/WebPublish/5P41.pdf>