

PRESENT STATUS OF KLYSTRON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR J-PARC LINAC 2009

Masato Kawamura^{1,A)}, Etsuji Chishiro^{B)}, Masayoshi Yamazaki^{B)}, Yuji Fukui^{A)}, Hiroyuki Suzuki^{B)},
Ryu Sagawa^{C)}, Shin-ichi Ogawa^{C)}, Yuichi Yumino^{C)}, Fujio Naito^{A)}

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

^{B)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA), 2-4 Shirakata Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

^{C)} Hitachi, Ltd., Information & Control System Div., 5-2-1 Omika-cho, Hitachi, Ibaraki, 319-1293

Abstract

The klystron power supply systems for the J-PARC 181MeV Linac had been operated from last September to this June. The operating hours of the systems were 5,000 hours and more. In this May and June, many machine failures of the systems happened. This paper reports the present status, including the failures, the measures and the maintenances, of the systems.

J-PARC リニアック用クライストロン電源システムの現状2009

1. はじめに

J-PARC (Japan Proton Accelerator Complex, 大強度陽子加速器施設) は過去1年間、MR (Main Ring) 30GeV加速を達成し (08年12月)、また全施設が稼働を開始した (09年4月)。

J-PARC リニアックは3GeV RCS (Rapid-Cycling Synchrotron) の入射器であり、負水素 (H⁻) ビームを現状では181MeVまで加速する。08年9月から09年6月にかけて、8回のRun (Run18~Run25) を行なった。07年9月から08年6月にかけては1回のRunが7日以上26日未満の (終日) 連続運転^[1] だったのに対し、RFQのRFエージングの時間延長等に対応するため、リニアック用RF機器は2つのRunの連続運転 (前Run終了後、直ちに次Runにむけたエージングを開始する) など、28日以上51日以下の連続運転が要求された。

J-PARC リニアック用クライストロン電源システムについては、過去の本研究会で毎年報告している (文献[1]-[3]、他)。またリニアック400MeV増強のための開発については、今回、千代氏による報告^[4] がある。これら論文との重複を避けるため、本論文では、特に現在稼働中の181MeVリニアック用システムについて、過去1年間の運転状況、不具合とその対策などを報告する。

2. クライストロン電源システムの運転状況

2.1 運転状況概要

表1 (次ページ) に、08年9月から09年7月までのクライストロン電源システムの運転等まとめを示す。08年9月下旬 (Run18の終盤) にRFQのRFトリップが

多発するようになり、Run20以降はRFQのRFエージングの時間を延長する事になった。これに対応するため、当電源システムのうち、HV1 (RFQ、DTL1~3用クライストロン) を運転、昨年の論文^[1] のHVPS01と同じのシステムを、他システム (HV2~6、[1] のHVPS02~06と同じ) より長時間運転する事になった。

表1より、Run18,19が28日の連続運転だったのに対し、Run20以降は、特にHV1が30日以上連続運転となり、最長がRun21-22の51日連続運転だった。なお、表1の表示において、例えば左欄「09年1月上旬~2月中旬」に対して中欄

「Run21_Run22」とあるのは、Run21のビーム運転終了に引続き、当電源システムを停止せずにRun22のビーム運転終了まで連続運転したことを示す。また、連続運転の日数は、1日未満を切捨てている。そして、メンテナンス作業の期間を、表1の通り3回設けた。

過去1年間の運転時間は、HV1が約5,600時間、HV2~6が約5,000時間である。その1年前の約3,070時間^[1] と比較して、HV1が約82%、HV2~6が約63%、各々増加した。

HV ON積算時間は、HV1が約15,000時間、HV2~5が約11,000時間、HV6が約9,500時間である。

2.2 トレンドグラフによる直流電圧等の観測と報告

以前より運転中のクライストロンRF出力変動が確認されており、その原因を探るため、Run19よりトレンドグラフにより直流電圧の変動を観測し、関係者打合せなどで報告を行っている。1ヶ月以上の変動を観測し報告する場合、レコーダのチャート紙を用いるのは不都合となる。

¹ E-mail: masato.kawamura@j-parc.jp

表1：08年9月から09年7月までの運転等まとめ

年月等	Run 等	連続運転日数 運転状況 等
08年9月上旬 ∩ 9月下旬	Run18	・28日連続 ・HV2電圧設定の変更
08年10月上旬 ∩ 11月上旬	Run19	・28日連続 ・トレンドグラフでHV1,HV2の電圧不安定確認(以後のRunも確認)
08年11月7日 ∩ 11月13日	保守 作業	・Mアノード変調器電界強度の緩和対策
08年11月中旬 ∩ 12月下旬	Run20	・HV1_38日、HV2_29日、HV3~6_28日連続 ・(初めて)RFQエージング先行
09年1月上旬 ∩ 2月下旬	Run21 Run22	・HV1_51日、HV2~6_49日連続 ・HV1、PLCリスタート必要 ・S09アノードO.C.
09年3月2日 ∩ 3月6日	年次 点検	・DSCON全数、HVTR4の各端子から油漏れ確認 ・AVR盤制御基板部品劣化確認
09年3月中旬 ∩ 5月上旬	Run23	・3月下旬中断、HV1_34日、HV2~6_31日連続 ・S05アノードO.C.多発、Run終了後当該Mアノード変調器交換
09年5月中旬 ∩ 6月下旬	Run24 Run25	・HV1_41日、HV2~6_40日連続 ・HV1不具合多発(3.1項で詳述)
09年7月13日 ∩ 7月16日	点検・ 改造	・AVR盤制御基板改造 ・KLCTL盤PLC用24VDC電源の実装変更 ・DTL1,3用Mアノード変調器タンク内部に放電痕確認

現在はIn Touch (Wonderware社製)を用いてPLCのデータ収集を行い^[5]、Active Factory Trend (Invensys Systems Inc.製)を用いてトレンドグラフを作成している。図1(次ページ)に一例を示す。

トレンドグラフにより、直流電圧がHV1,2は不安定、HV3~6は安定であることが明らかになった。

3. 不具合とその対策

左表1の右の欄に、各Runにおける主な不具合を記入したが、最後のRun24-25ではHV1システムに多くの不具合が発生した為、まずはこれらの報告を行う。

3.1 Run24-25で発生したHV1システム不具合と対策

3.1.1 HV1起動不良

5月中旬の起動直後、HV1で高電圧トリップが発生し、リセット(NGを復帰)後再立上げしてもトリップが再現し、運転不能となった。トリップ発生の際、制御用リレーがチャタリングを起こす(断続を繰り返す)現象も見られた。類似の高電圧トリップはRun21-22でも見られたが、この時はPLCを1度リスタート(ON->OFF->ON)すれば運転可能となった。しかしRun24-25では運転不能のままだった。

調査の結果、RFQスタンドのKLCTL(クライストロン高圧低圧電源制御盤)にあるPLC駆動用DC24V電源の平滑コンデンサがパンクしており、DC電圧が不足しているのが分かった。Runの間は不具合の電源1台を予備品と交換して運転を行った。これまでの実装方法では電源の寿命が短くなる事がわかったので、7月に当該の全DC電源の実装を変更した。

3.1.2 HV1クローバ動作の多発

5月21日(木)に最多の4回発生するなど、Run全体でHV1のクローバ動作が多発した(平均で1日当たり約0.75回、4日で3回の割合)。クローバ動作時にMアノード変調器から大きな音を発する事や、オシロスコープの波形観測結果などから、Mアノード変調器内のカソード回路の地絡が原因と予想された。

7月にDTL1,2,3各スタンドのMアノード変調器内部機器を引上げて観測した。DTL1,3用のカソード回路で放電痕が観測され、DTL2用では観測されなかった。特にDTL3用は配線用銅パイプを覆ったポリエチレン管に放電痕が見られた^[3]。8月の作業で放電痕のついたポリエチレン管の撤去、カソード回路とタンク壁(接地電位)との絶縁距離確保(現状の44mmから60mm以上へ変更)などを行う予定である。

3.1.3 DTL2スタンド用四極管のエミ減

5月下旬より、DTL2スタンドのクライストロンRF出力の減少が確認された。オシロスコープで波形を確認したところ、クライストロンカソード電流パルスの立上り時間が遅く、かつピーク値も減少しているのが確認された。

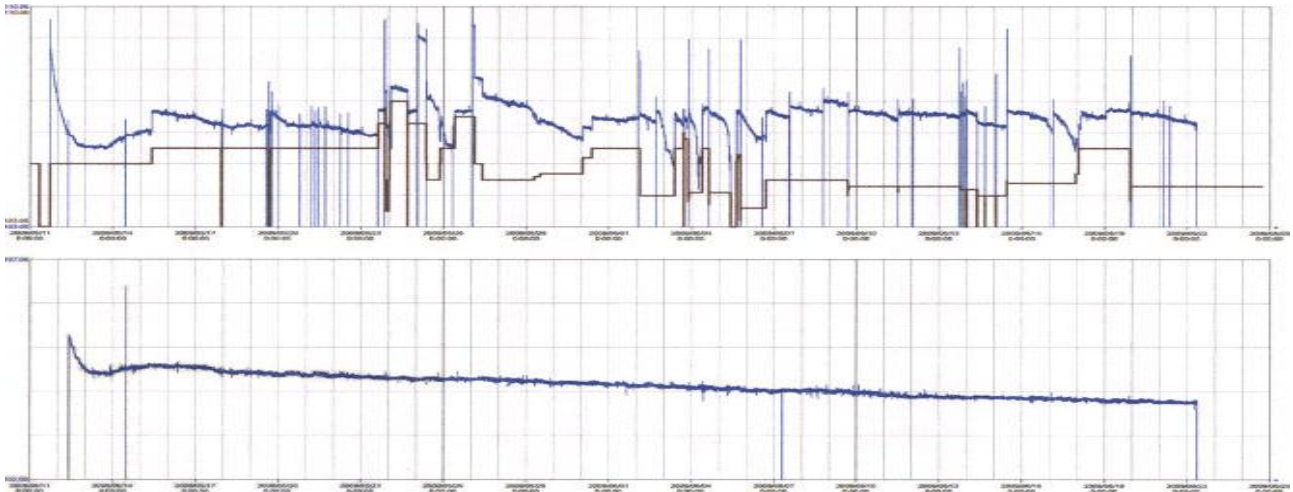


図1：Run24-25の直流電圧のトレンドグラフ。上図がHV1(青線が測定値、赤線が設定値)。比較のため下図に同時刻のHV4を示す。1目盛は横軸が1日、縦軸が1kV。

DTL2スタンド用Mアノード変調器では、パルススイッチ用素子に四極管(TH5188)を使用しており^[2]、四極管のエミ減(エミッション減少)が原因と判断した。ビーム運転中断時に四極管の予備品と交換したところ、電流波形が正常になった。現在4台(RFQ,DTL1,2,3)のMアノード変調器で四極管を使用しているが、今後はなるべく早く半導体スイッチに変更する予定である。

3.1.4 DTL2スタンド用電圧モニタの不具合

5月末よりDTL2スタンドのカソード電圧値が一時的に減少する現象がみられ、6月中旬より同スタンドのアノード電圧波形がグラウンドレベルに接近する現象が見られた。他の電圧値や電流値、RF出力などと比較検討した結果、当該電圧モニタの不具合と判断された。今後原因の究明が必要である。

3.2 その他の不具合と対策

2.2項および上図1に示す通り、HV1,2の直流電圧が不安定になっている。不安定の原因は、AVR盤内制御基板側と変圧整流器内モニタ用分圧抵抗側の両方にあるとみられる。時折発生する急激な変動は、制御基板の不具合が原因とみられ、調査したところサイリスタG-K間電圧を制御する基板に、電界コンデンサが膨らむなどの劣化が見られた。7月に不具合部品を交換し、コンデンサと抵抗の位置を分離して(基板を2階建て構造にして)コンデンサが抵抗の熱の影響を受けないようにした。一方、図1の上図に示すような、立上げ後約2日にわたるゆるやかな電圧降下は、分圧抵抗器の、特に変圧整流器油タンク内の高抵抗が原因と見られる。現在、抵抗器を購入して試験・評価を行っている。

Run23の終盤にSDDL05アノードO.C.(過電流)が多発した。この現象はRun21-22の途中でSDDL09スタンドでも発生したが、以後SDDL09では発生していない。SDDL05スタンドではRun23終了後Mアノード

変調器を予備品と交換した。しかし5月中旬の起動初日から高電圧トリップが多発した。

オシロスコープで波形を観測したところ、Mアノード変調器内で、アノード分圧回路が地絡する現象が確認された。早急の対策として、確認された波形から、サンプリングトリガのDelay時間を変更(380 μ s \rightarrow 580 μ s)すればトリップの多発が回避できる事を確認したので、この設定を行い、運転を継続した。抜本的な対策については、交換前のMアノード変調器をパルス電子技術(株)に送り、放電現象を解析しながら検討している。

断路器盤(DSCON)全数、およびHV4変圧整流器(HVTR4)の1箇所、各端子部から油漏れが見られた。シーリングなどを施して経過観測中である。

4. まとめ

J-PARC 181MeVリニアック用クライストロン電源システムの現状を報告した。今夏のシャットダウン中に可能なメンテナンスを行い、今秋以降の運転に備え、また増強機器の仕様に反映させる予定である。

参考文献

- [1] 川村 他、2008年度本研究会Proceedings, pp.473-475.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj5_lam33/contents/PDF/WP/WP079.pdf
- [2] 川村 他、2006年度本研究会Proceedings, pp.400-402.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj3_lam31/Proceedings/WP/WP44.pdf
- [3] 川村 他、2004年度本研究会Proceedings, pp.287-289.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj1_lam29/WebPublish/4P32.pdf
- [4] 千代 他、本研究会、FPACA45
- [5] 福井 他、2007年度本研究会Proceedings, pp.504-506.
[http://www.pasj.jp/web_publish/pasj4_lam32/PASJ4-LAM32%20\(D\)/contents/PDF/TP/TP27.pdf](http://www.pasj.jp/web_publish/pasj4_lam32/PASJ4-LAM32%20(D)/contents/PDF/TP/TP27.pdf)