

KLYSTRON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR J-PARC LINAC - Present Status and Upgrade Plan -

Masato Kawamura^{1,A)}, Etsuji Chishiro^{B)}, Masayoshi Yamazaki^{B)}, Yuji Fukui^{A)}, Toshihiko Hori^{B)}, Shin-ichi Ogawa^{C)},
Yuichi Yumino^{C)}, Seiya Yamaguchi^{A)}, and Shozo Anami^{A)}

^{A)} KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} JAEA, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, 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 Linac had been operated about 3,070 hours from last September to this June. This paper reports the present status, including the machine failures, the measures and the maintenances, of the systems. The upgrade plan of the systems for the Linac Energy Upgrade (from 181MeV to 400MeV) is also reported.

J-PARCリニアック用クライストロン電源システム —現状と増強計画—

1. はじめに

J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex, 大強度陽子加速器施設)の加速器は過去1年間、3GeVエネルギー達成、50GeVリング内の陽子ビーム周回、RF捕捉、リングからの取出しを果たした。3GeVビームを用いた中性子発生にも成功した。

J-PARCリニアックは3GeVリングの入射器であり、負水素(H)ビームを現状では181MeVまで加速する。リニアックを構成する機器は、昨年9月から今年6月にかけて9回(Run09~Run17)の運転を行った。1回のRunは7日以上26日未満の終日連続運転だった。またこのリニアックを400MeV(常伝導リニアックの定格エネルギー)に増強する計画は、J-PARC建設計画の第一期計画に含まれており、現在進行中である。

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Proceedings^{[1]-[4]}に毎年報告しているので、詳細はそれらを参照されたい。本論文では、当電源システムについて、過去1年間の運転状況、不具合とその対策、増強計画の概要、等について述べる。

2. クライストロン電源システムの現状

2.1 運転状況

過去1年間の運転時間(高電圧ON時間)は、6台の高圧直流電源(HVPS01~06)全て約3,070時間である。

設定電圧について、HVPS03はRun15(08年4月)途中までは106kVだったが、高電圧downが頻発(不具合状況は2.2(b)項に記述)したため103kV(3kV、約3%減)に変更した。HVPS03は、加速空洞SDTL05~08

にRF電力を供給する4台のクライストロンを運転しているが、103kV設定でもビーム加速運転は可能であり、以後のRunでは(Run15~17、08年4~6月)103kV設定で運転した。他の電源は1年間同じ設定電圧で運転した(HVPS01_107kV、HVPS02_91kV、HVPS04と05_108kV、HVPS06_70kV)。HVPS03設定変更後の、6台の総出力電力は1.50MWである。

2.2 不具合とその対策

当電源システムで過去1年間に発生した主な不具合とその対策は下記の通りである。

(a)AVR01、02ダイオード極性の不具合

Run11(07年11月)において、調整のためHVPS01の高電圧を一旦停止した後再立上げすると、電圧上昇の途中で「VCB過電流」等のerrorが発生し高電圧downした。この現象は以後しばらく発生しなかったが、Run14(08年2月)の立上げ時に再度発生した。

Run14終了後の08年3月、調査を行ったところ、AVR01(HVPS01内AVR盤)N極側サイリスタのゲート-カソード間ダイオードが逆向きに付いていた。他のAVR盤も点検したところ、AVR02(HVPS02内)でもダイオードが逆向きになっていた。これらを修正した結果、Run15以降は不具合が無くなった。

AVR01、02はKEKにて01年より運転していたが、(1)クライストロン4台並列に運転し、電流値が増加している、(2)設定電圧が100kVを超え、且つ立上げ時などで電圧を一気に上昇させている、(3)冬場や夜間などで周辺温度が下がっている、の3条件が揃わない限り、サイリスタとダイオードの微妙な特性で、サイリスタがそれなりに動作していたため、

¹ E-mail: masato.kawamura@j-parc.jp

これまで不具合が発見されなかった。

(b)MANOD10油タンク内放電の発生

2.1項で触れたとおり、Run15(08年4月)でHVPS03の高電圧downが頻発した。CROW03(HVPS03内クローバ盤)のクローバ電流用光CT内抵抗^[1]を目視したが破損は確認できなかった。

高電圧down時にMANOD10(Mアノード変調器10号機、HVPS03から電力が供給されクライストロン(Kly)S06を運転)のerrorが多く見られたのでRun15終了後、MANOD-Kly間の高圧同軸ケーブル^{[3][5]}を分解したが放電痕は無かった。

MANOD10油タンク内部回路を引き上げ確認したところ、配線用銅パイプ外周に被せられた約1.5mm厚のポリエチレン管2本の表面に放電痕があった^{[1][4]}。応急処置として放電痕のあるポリエチレン管を撤去し、更に電界緩和のためMアノード電流測定用CT(スタンガネス社CT3.5-0.1)を暫定的に取り外した^[1]。この結果、Run16以降不具合が無くなった。

(c)BNC端子接地不備、LEMOコネクタ締付け不備

(c-1)Run10~13にかけて(07年10月~08年1月)、各Runで1回ずつ、HVPS06が「全カソード過電流」等のerrorで高電圧downした。「全カソード電流」モニター用同軸ケーブルを調査したところ、制御盤内BNC端子部で、外導体が、HVPS01,02は制御筐体内で接地されていたのに対し、HVPS06および03,04,05は接地されていなかった。HVPS03~06で筐体接地を施したところ、Run14以降不具合が無くなった。

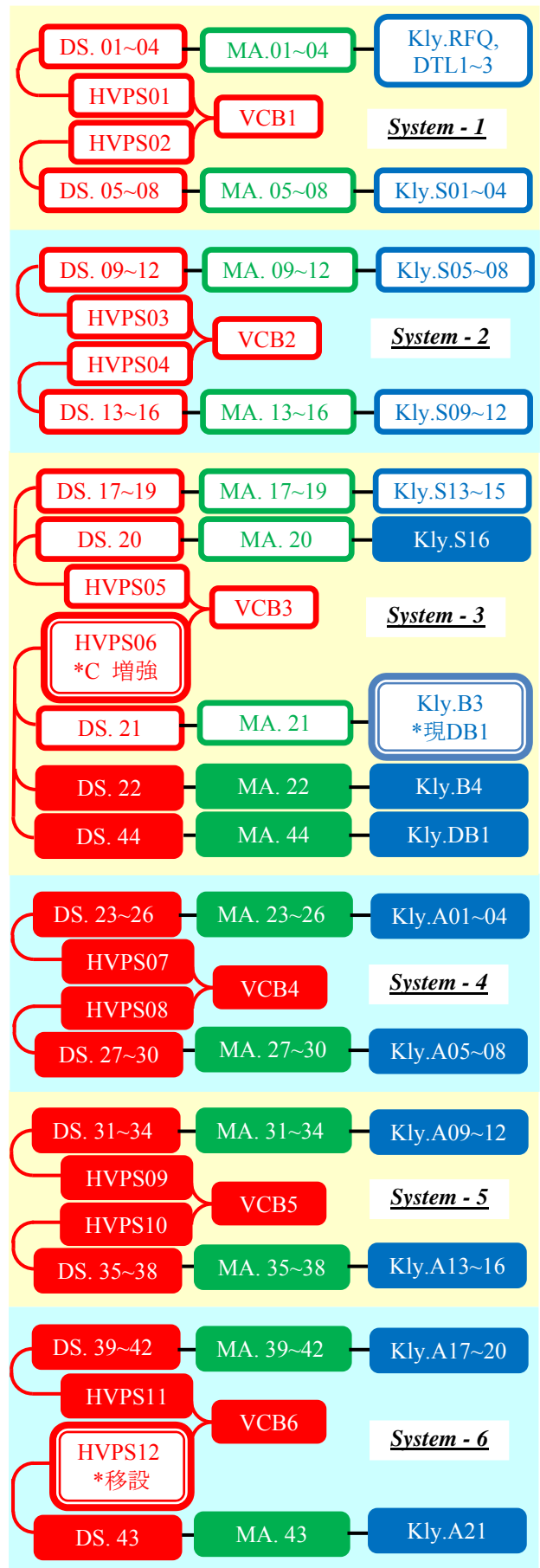
(c-2)Run15(08年4月)運転中MANOD09(Mアノード変調器09号機、HVPS03~KlyS05間)が高電圧downし、再立上げしたところカソード電圧20kV未満で「半導体スイッチオフ過電流」のerrorでdownした。波形を観測したところ半導体スイッチのゲートパルスが(定格700μsに対し)1ms程度となっていた。

更に調査したところ、オフトリガ信号用ケーブル端子部のLEMOコネクタの締め付けが緩いのがわかった。締め付けが緩く接触不良になるとオフトリガが送られず、その結果半導体スイッチの仕様により1msのパルスになる。LEMOコネクタを増締めした結果不具合が無くなった。

上記(a)-(c)の対策により、Run16,17(08年5,6月)は不要な高電圧downの無い安定した運転だった。

図1(右段): J-PARC 400MeVリニアック(増強後)クライストロン電源システム構成図

白地で単線枠が既設、二重線枠が改修・移設の必要な物、ベタ塗り白文字が新規増設。(詳細は次ページ第3章)



2.3 メンテナンス等について

- HVDC02,04,06の変圧整流器計3台の碍子部に油漏れがあり、07年9月にグリースを塗って密閉した。
- クローバ電流用光CT内抵抗^[1]全数を07年8月に交換した。JAEA内にある陽子加速器開発棟のクローバ盤の高圧ケーブルが絶縁破壊し、その原因が端末処理の不良とみられ、当電源システムでも当該全数の端末処理を07年9月にやり直した。
- MANOD09,11,13(S05,07,09 スタンド)のMアノード電流測定用CT取外し作業を、08年8月に行う。
- メインコイル電源 (IDX製、IPM-500204-A4) で出力不安定や騒音発生などがあり、07年8月に全数改修したが、まだ騒音を出す物がある。また内蔵タイマ不具合でON命令から立上りまで4秒以上の物が5台、うち10秒弱が1台。これらの改修も必要。
- LEMOコネクタ増締めは08年7月に終了した。

3. 電源システムの増強計画

J-PARCリニアックの400MeVへの増強について、機器仕様の検討が行われた。最近の部品価格上昇の影響などにより、予算が厳しい状況である。そのため、Design Report^[6]から変更して、190.8~400MeV間の加速空洞(972MHzACS空洞^[8]を使用する予定)の台数を減らし(46台→42台)、972MHzクライストロン^[9]および当電源システム機器の台数を減らす(クライストロンを23台^[7]→21台)。その代わりにACS_1台あたりの加速電場を増やす事となった。

図1(前ページ)に400MeVリニアック(増強後)の構成図を示す。「VCB」は「VCB盤」(各々2台の真空遮断器を備える)、「DS」は「断路器」、「MA」は「MANOD」、「Kly」は「クライストロン」を示す。「Kly.Sxx」、「Kly.Axx」、「Kly.Bx」、「Kly.DBx」は各々SDTL、ACS、バンチャ、デバンチャにRF電力を供給する。

VCB盤1台が3相6.6kV電力を供給する機器をまとめて「System」と便宜的に名付けると、全部でSystem-1~6の6つで構成される。概ね上流からSystem-1,-2,...の順だが、最下流の機器(DS.44、MA.44、Kly.DB1)はデバンチャが250kW^[7]と小電力のため、定格80kVのHVPS06(System-3内)につながる。

HVPS06をKly_2台仕様から4台仕様に増強するため、コンデンサバンクの容量を増やす(6.4→12.9μF)。HVPS12は、陽子加速器開発棟にある972MHzテストスタンド^[9]から移設する。(Kly.B3はクライストロン、空洞等RF側の変更(324→972MHz、など))

新規増設の機器(図1のベタ塗り白文字)はVCB_3台、HVPS_5台、DSとMANOD_23台である。既設機器^{[2][7]}から仕様変更する主な点を表1に示す。

電流増加はACS_1台あたりの加速電場を増やすため、コンデンサ容量増加は電流増加でも電圧サグを5%以下とするためである。

コンデンサ絶縁体はコンデンサ紙(CP)+ポリプロピレン(PP)から金属化ポリエステル(MPET)に変更し、コンデンサの外寸寸法も異なる。

既設システムではバウンサ回路^[10]を追加する

表1 : HVPS、MANOD 仕様の変更点

項目	新規増設	(既設)
(HVPS)		
最大負荷電流	200A	(180A)
直流換算電流	6.8A	(6.3A)
コンデンサ容量	28.8μF	(25.5μF)
コンデンサ絶縁体	MPET	(CP+PP)
バウンサ回路追加	不可	(可)
(MANOD)		
分圧比(Vk:Va)	110:94	(110:90)
100%選択時		
分圧比選択(%)	100,105,110	(90,100,110)

オプションも可能とし、直流主回路の+側定格を-20kVとしたが、新規増設ではオプションを諦め+側接地として価格の低減をはかる。

MANODのKlyカソードアノード分圧比(Vk:Va)は抵抗分割比で設定されるが、新規増設分は、逆バイアス電圧(-3kV)を考慮した上でKly端子で110:94(Klyの設計仕様)となるようにする。

当電源システムの増強は、2009年度から3年間の計画である。

4. まとめ

J-PARCリニアック用クライストロンシステムの現状と増強計画について述べた。当面は9月以降の加速器運転に備え、必要なメンテナンス等を行う予定である。

参考文献

- [1] 川村 他、2007年度本研究会Proceedings, pp.501-503.
[http://www.pasj.jp/web_publish/pasj4_lam32/PASJ4-LAM32%20\(D\)/contents/PDF/TP/TP26.pdf](http://www.pasj.jp/web_publish/pasj4_lam32/PASJ4-LAM32%20(D)/contents/PDF/TP/TP26.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/W/WP44.pdf
- [3] 川村 他、2005年度本研究会Proceedings, pp.293-295.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj2_lam30/Proceedings/20P024.pdf
- [4] 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
- [5] E.Chishiro et. al., Proc. of PAC05(2005), pp.1123-1125.
<http://epaper.kek.jp/p05/PAPERS/WPAT008.PDF>
- [6] "ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR J-PARC", KEK Report 2002-13, JAERI-Tech 2003-044, J-PARC 03-01, 2003.
<http://hadron.kek.jp/~accelerator/TDA/tdr2003/index2.html>
- [7] 同上、Chap.3, pp.3.1.3.1-1~6
<http://hadron.kek.jp/~accelerator/TDA/tdr2003/chap3/3.1.3.1.pdf>
- [8] 青寛幸 他、本研究会、WP088.
平野耕一郎 他、本研究会、WP089.
- [9] 堀利彦 他、本研究会、WP083.
山崎正義 他、第27回リニアック技術研究会
Proceedings(2002), 8P-10.
http://www.pasj.jp/web_publish/lam27/PDF/8P-10.pdf
- [10] "JHF Accelerator Design Study Report", KEK Report 97-16, JHF-97-10, 1998, pp.4.6-14~15.