

J-PARC リニアック用クライストロン電源システムの現状 2013

PRESENT STATUS OF KLYSTRON POWER SUPPLY SYSTEMS

FOR J-PARC LINAC 2013

川村真人^{#, A)}, 千代悦司^{B)}, 堀利彦^{B)}, 篠崎信一^{B)}, 佐藤文明^{B)}, 福井佑治^{A)}, ニツ川健太^{A)},
山崎正義^{C)}, 佐川隆^{D)}, 宮嶋教至^{D)}, 雪竹光輝^{D)}, 小川真一^{D)}, 伊藤直人^{D)}
Masato Kawamura^{#, A)}, Etsuji Chishiro^{B)}, Toshihiko Hori^{B)}, Shin-ichi Shinozaki^{B)}, Fumiaki Sato^{B)}, Yuji Fukui^{A)},
Kenta Futatsukawa^{A)}, Masayoshi Yamazaki^{C)}, Ryu Sagawa^{D)}, Noriyuki Miyajima^{D)}, Mitsuteru Yukitake^{D)},
Shin-ichi Ogawa^{D)}, Naoto Ito^{D)}

^{A)} KEK, High Energy Accelerator Research Organization / J-PARC, Japan Proton Accelerator Research Complex

^{B)} JAEA, Japan Atomic Energy Agency / J-PARC

^{C)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd

^{D)} Hitachi, Ltd.

Abstract

This report describes the present status of the klystron power supply systems for the J-PARC linac. The systems for the 181MeV linac were operated from September to May, and have been off in the cause of the accident of the J-PARC Hadron Experimental Facility. A few breakdowns were occurred, and are described in this report. The new systems for the upgrade of the linac from 181MeV to 400MeV have been installed until now, and the 3 HVDCPSs and the 3 anode-modulators of the new systems have been operated. All the systems for 400MeV linac will be operated in this autumn.

1. はじめに

本論文は J-PARC リニアック用クライストロン電源システム^{[1][2]}について、過去 1 年間の運転状況等を報告するものである。

181MeV リニアック運転対応として、昨年 9 月下旬より今年 5 月下旬まで、年末年始の中断や、スケジュール化された 8 時間未満のメンテナンス等を除き、終夜連続運転を行った。運転と並行して、昨年 7 月初めまで運転していたアノード変調器のうち、未改修分 15 台を改修して放電対策^[3]を施した。

エネルギー増強対応として、震災により中断していた 972MHz テストスタンド(高圧直流電源 HVDCPS#12 と ACS#21 ステーション、ACS 空洞やクライストロン・972MHz 用部品などの試験等を行う恒久的なテストスタンド)の再立上げ、HVDCPS#10 と ACS#16 ステーション、HVDCPS#11 と ACS#17 ステーション(両方とも、エネルギー増強前にクライストロンの試験を行う Temporally なテストスタンド)の立上げを行った。

J-PARC ハドロン施設事故により、今年 5 月下旬、当電源システムの運転を停止した。

エネルギー増強用の機器については、972MHz テストスタンドを 6 月 18 日に運転を再開し、ACS#16、#17 の両ステーションも 6 月 19 日に運転を再開した。

なお、本論文に関連して、本研究会では電源停止

[#]masato.kawamura@kek.jp

頻度の改善に関して堀氏^[4]の報告があるので参照されたい。

2. 181MeV リニアック用機器の運転状況

2.1 連続運転前作業

昨年 7 月まで連続運転していたアノード変調器 20 台のうち、定格 110kV で運転するものは 19 台ある(デバンチャ 1(DEB1)の 1 台は 80kV 定格)が、放電対策を終了したのは 4 台のみだったため、残り 15 台について昨年度内に対策作業を終了する必要があった。一方、9 月下旬から加速器運転が開始された(クライストロン電源は、加速空洞コンディショニングの必要もあるため 9 月中旬の立上げ、以後連続運転)。エネルギー増強用変調器(25 台、対策作業済)は既に納品されていたため、未対策の変調器 15 台を一旦取り外して J-PARC リニアック棟クライストロンギャラリー上流に仮置きし、空いた場所に対策済変調器のうち 15 台を移設して、立上げ・連続運転に対応した。当時は東日本大震災で被災したクレーンの改修が完了していなかった^{[1][5]}ため、アノード変調器の移動はコロ引きで行った。なお、放電対策は 10 月より日新パルス電子(株)へ搬出、改修後搬入、等を順次行い(改修のペースは概ね 4 台/月)、2/25 に終了した。

HVDCPS#1、#2 については運転当初より出力電圧の不安定が生じていた^[6]が、調査の結果変圧整流器(HVTR#2、#11)の測定用(出力電圧フィードバック制御用)分圧抵抗器の、気中にある低抵抗器の温度

特性が悪いことが不安定の原因と考えられたので、当該抵抗器を外し、出力電圧が比較的安定しているHVTR#4、#5の、使用していない同形の抵抗器と入れ替えた。

2.2 HVDCPS#1号機 AVR 盤の不具合

連続運転中の3/18朝(8:54)、「交流過電流」のインタロックでHVDCPS#1号機が停止し、以後(定格電圧110kVに対し)設定電圧30kVでも同インタロックがかかり、高電圧の運転が不能となった。この現象は前々日(3/16)から5回発生しており、特に3/18 0:00以降は3回発生していた。以後、リニアックのビーム加速運転を中断し、翌3/19 15:00頃まで調査・改修を行った。

HVDCPSの電圧制御は、サイリスタ点弧位相角の調整による12パルス整流方式(三相全波整流2直列)^[1]である。サイリスタ・制御基板等を備えたAVR盤(AVRはAutomatic Voltage Regulatorの略)に電圧600Vで30deg.の位相差のある2つの三相交流(u1、v1、w1とu2、v2、w2)を引込み、変圧整流器(HVTR)1次側への出力電流を調整することで高電圧を制御している。

各相の電流測定値の時間経過を観測したところ、ノイズによる誤動作とみられるサイリスタの誤点弧が発生しており、その結果過電流が生じているのが確認された。特にv2がp方向に点弧すると同時にu2もn方向に誤点弧する現象が多発していた(測定では正常時より約4ms早い誤点弧が確認された)。

AVR盤内にはサイリスタのG(ゲート) - K(カソード)間にパルス信号を供給し、パルス幅を調整する事でサイリスタの点弧を制御するゲート回路基板が6枚あるが、インタロック発生時の波形を観測したところ基板内部のパルスは正常であることが確認された。従ってゲート基板とサイリスタG-K端子との間の配線にノイズ(測定では0.5V程度の電圧ノイズ)が侵入していると思われたので、早急の対策として6枚の基板全ての出力配線について、

- ゲート信号(p、nとも)・電力線(DC±24V)・接地線が一括して結束してあったのを分離した(誘導ノイズ低減のため)。
- ゲート配線のシールド線シース部が接地してあったのを、外して接地から浮かせた(浮遊容量結合ノイズ低減のため)。
- サイリスタG-K端子間に、これまでダイオードとコンデンサ0.1μFの並列回路が配線されていたが、更に並列に抵抗1kΩとコンデンサ0.33μFのC-R並列フィルタを追加した。

改修以降の運転では不具合は発生しなかった。

他のAVR盤改修については、HVDCPS#7～#12用は5月に終了し、HVDCPS#2～#6用は8月以降行う予定である。



Figure 1: A disconnection point between two electrodes in an anode-modulator.

2.3 アノード変調器の不具合

連続運転中の5/8夕刻(19:49)、「MANOD逆バイアス電源電圧低下」のインタロックが発生してHVDCPS#4およびSDTL9スタンドが停止した。半導体SWユニットをアノード変調器油タンク内から吊上げて交換するのが最適な対応と判断し、交換作業終了後再立ち上げを行ったところ交換前と同様「MANOD逆バイアス電源電圧低下」のインタロックが発生した。この結果を受け、放電対策済のアノード変調器が仮置きしてある(2.1項参照)ことから、アノード変調器全体を交換し、翌5/9早朝(3:16)運転を再開した。

最初の不具合についてはまだ確認・改修していないが、半導体SWユニット下部にある高電圧ボックス内の回路の不具合と予想される。

一方、半導体SWユニット交換後の不具合について、5/13アノード変調器内部を油タンクから引上げて確認したところ、Figure 1のように電極が接触していない事が分かった。対策として、全てのアノード変調器(45台)について、当該電極の接触を確実にするために、「電極の形状を見直して、接触を確実にする」、「下側(油タンク側)の電極について、内蔵するバネのストロークが大きいものに変更する」などの改修を、8月以降に行う予定である。

2.4 その他

9月下旬より5月下旬までの高電圧印加時間は5,700時間前後だった。J-PARCハドロン施設事故により、今年5月下旬以降運転を行っていない。

3. エネルギー増強に向けて

リニアックの181MeV-400MeVエネルギー増強に対応した当電源システムの開発やリニアック棟での作業については、過去の年会でも報告している^{[1][5][7]}が、今年11月以降いよいよ全機器の連続運転を開始する事となった。機器の納品は既に終了している。また、震災前から既に運転を開始していた震災により運転を中断していたもの、最近試験を

終了して運転を開始したもの、機器の移動などが必要で今後運転を開始するもの、などがあるので、以下、これらを分けて現状や今後の予定を報告する。

3.1 972MHz テストスタンド (HVDCPS#12 と ACS#21 ステーション)

2011年の東日本大震災以前より運転を行っていたが、震災による中断や、972MHz クライストロン試験の準備作業などを経て、今年 2/26 から運転を再開した。以後、972MHz クライストロンの試験を 5/24 まで行った。J-PARC ハドロン施設事故を受けた中断の後、6/18 から運転が再開され、これまで ACS 空洞の大電力試験を行っている。2/26 から 7/28 までの高電圧印加時間は約 330 時間である。

ACS 空洞の大電力試験は 7/31 まで行う予定である。

3.2 HVDCPS#11 と ACS#16 ステーション、HVDCPS#12 と ACS#17 ステーション

HVDCPS#11 用変圧整流器(HVTR#11)は、2011年度の HVTR#1 故障^[1]・廃棄に伴い HVDCPS#1 へ移設し使用しているため、2012年度予備を含め 2 台 (HVTR#13, HVTR#14)購入し、3/9 に搬入された。

HVDCPS#11 と ACS#16 ステーション、HVDCPS#12 と ACS#17 ステーションは今年 5 月前半に立上げ作業を行った。

ACS#16 ステーションは 972MHz クライストロンの新品(未試験品)の試験を、東芝技術者が出張・常駐して行う。6/26 より運転を開始し、7/28 までの高電圧印加時間は約 240 時間である。

ACS#17 ステーションは 972MHz クライストロン(試験済品)の性能確認試験を、J-PARC で行う。6/19 より運転を開始し、7/18 から 7/31 までの平日はシフトを組んで 24 時間連続運転を行っている。7/28 までの高電圧印加時間は約 360 時間である。

972MHz クライストロンの試験は、8 月は中断、その後 9 月に再開して 10 月下旬まで行う予定である。

3.3 その他の機器

181MeV リニアック用機器のうち、HVDCPS#1～#4、RFQ ステーション、DTL1～3 ステーション、SDTL1～15 ステーションの各機器は現状通り。

SDTL16 ステーションを立上げ、HVDCPS#5 は現在の 3 負荷から 4 負荷に変更される。HVDCPS#6 は現在の 1 負荷から 4 負荷に変更される。

一方、HVDCPS#6 の負荷側のバンチャ(BUN1、2)、デバンチャ(DEB1、2)をはじめ、ACS 上流部(ACS2、3)の各ステーションを立上げるためには、19 インチラックの移動、配線替えなど大掛かりな作業が必要となる。また上記 2.1 項で述べたアノード変調器の入替え作業も必要となる。

これらの作業は、7/29 より順次開始される。

上に述べたクライストロンの試験や機器の移設作業を行い、11 月以降の全機器運転に備える予定である。

4. まとめ

以上、過去 1 年間のクライストロン電源の状況をまとめた。

震災によるクレーンの改修が終わらない状況での、アノード変調器のコロ引き作業から始まり、J-PARC ハドロン施設事故を経て加速器の運転中断のまま現在に至っている。一方、エネルギー増強に向けた作業は今年中に完了する予定で、震災による遅れを 1 年に留める事が可能な状況である。

今後の予定について、特にリニアックのビーム加速運転についてはまだ述べる状況に無いが、高電圧機器を扱う立場の者として、これまで以上に安全に留意して取り組む方針である。

参考文献

- [1] 川村 他, 2012 年度本研究会 Proceedings, THPS110, pp.1243-1247.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj9/proceedings/PDF/THPS/THPS110.pdf
- [2] M. Kawamura, et al., LINAC10 Proceedings, THP058, pp.887-889.
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/LINAC2010/papers/thp058.pdf>
- [3] 千代 他, 2012 年度本研究会 Proceedings, THPS105, pp.1224-1226.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj9/proceedings/PDF/THPS/THPS105.pdf
- [4] 堀 他, 本研究会, SUP053
- [5] 川村 他, 2011 年度本研究会 Proceedings, TUPS157, pp.1363-1365.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj8/proceedings/poster/TUPS157.pdf
- [6] 川村 他, 2009 年度本研究会 Proceedings, fcapa46, pp.1062-1064.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj6/papers/fcapa46.pdf
- [7] 川村 他, 2008 年度本研究会 Proceedings, WP079, pp.473-475.
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj5_lam33/contents/PDF/WP/WP079.pdf