

## PRESENT STATUS OF RF SOURCE OPERATION AT J-PARC LINAC

Masayoshi Yamazaki<sup>1A)</sup>, Etsuji Chishiro<sup>A)</sup>, Tetsuya Kobayashi<sup>A)</sup>, Toshihiko Hori<sup>A)</sup>, Hiroyuki Suzuki<sup>A)</sup>,  
Shozo Anami<sup>B)</sup>, Masato Kawamura<sup>B)</sup>, Yuji Fukui<sup>B)</sup>, Kesao Nanmo<sup>B)</sup>, Zhigao Fang<sup>B)</sup>, Seiya Yamaguchi<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakata Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

The J-PARC LINAC RF source executed operation corresponding to the beam commission for RCS, MLF, and MR from the phase of Run#9(Sep.2007) to Run#17(Jun.2008). The RF source has been operating well in the condition of 25Hz repetition, 650 $\mu$ s RF width and 1.4MW maximum power. The total operation time has been reached to 3000 hours. Maintenance work was chiefly executed the high-voltage power supply relation, and aimed at the decrease at the downtime. In this paper, we will report the status of RF source operation and the maintenance activity.

## J-PARC リニアック高周波源運転の現状

### 1. はじめに

大強度陽子加速器施設(J-PARC)のリニアックでは2006年10月より高周波源の運転を開始している。ここ1年間の高周波源運転は、RCS、MLF及びMRのビームコミッショニングに対応して継続的に実施している。2007年9月から2008年6月末までにRUN#9-RUN#17の運転を9回(1週間~4週間の連続)行なった。高周波源の運転時間は累計で6000時間(LV-ON)を超え、2007年9月からは3000時間に達する。ビームコミッショニング時の高周波源運転状況は、繰り返し25Hz、RF幅650 $\mu$ s、出力1.4MW(max)で行い、初期(装置立ち上げ時)のトラブルもほぼ改善され、低電力RF制御(LLRF)等のシステム充実により大きな不具合も無く概ね順調である。メンテナンスは、ビームコミッショニング休止時の1,2週間と空洞コンディショニング時に実施している。今回は主にクライストロン用直流高圧電源関連の機器についてメンテナンスを行い、ダウンタイムの低減に努めた。本稿では、これらの高周波源の運転状態と実施したメンテナンスについて報告する。

### 2. 高周波源の構成

高周波源は、6台のクライストロン用直流高圧電源(HVDCPS)、20台の324MHzクライストロン、4台の半導体増幅器で構成され、励振系として24台のLLRFシステムがある。高周波源全体の構成を図1に示す。(高周波源の仕様や構成の詳細は過去の本学会論文を参照されたい<sup>1)</sup>。)

データ収集系は、各ステーションのクライストロン電源制御PLCとLLRF制御PLCからのデータを上位

加速器制御システムに接続している。さらにRFグループ専用のPCにより詳細なデータ収集・監視システムを構築し、これにより高周波源関連機器の運転状態の監視やメンテナンスを行っている。

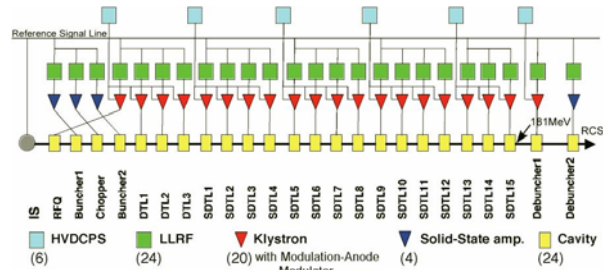


図1：高周波源の構成

### 3. 高周波源運転

#### 3.1 運転状況

ビームコミッショニングは通常9:00-21:00で行なわれている。高周波源の運転体制は、3シフト体制で対応しており平日昼間は日勤者数名(9:00-17:30)がクライストロン準備室に待機して監視及びトラブル対応を行う。夜間は準夜勤2名(17:00-1:30)および深夜勤2名(1:00-9:30)でシフトに対応する(休日は昼間も2名)。夜勤では、20:00,0:00,4:00,8:00の4回現場の巡回点検を実施している。また夜間の不具合は、緊急時を除き夜勤者の負担軽減のため修理等の処置はせず日勤者に引き継ぎそこで対応する。運転中は、監視画面により高周波源の監視を行なっている。HVDCPSおよび各空洞に対応したLLRFの運転状態

<sup>1</sup> E-mail: yamazaki.masayoshi@jaea.go.jp

が監視でき、異常が発生すると表示が変化し(正常時は緑、異常時は赤)警報音声を発することで、どの機器が異常か即座に判断できる。今のところ異常機器の復帰は遠隔では行わず、担当者が現場を確認のうえ行なっている。また、監視画面はRF関連機器のモニター値を表示している。これらのモニター値は中央制御室で集約されログデータとして端末から閲覧できる。

高周波源運転で通常のRUN時の立ち上げ手順を以下に示す。まず、HVDCPSの接地解除から開始し、クライストロンのヒーターON(1時間)、高圧エージング(1時間)によりRF-ONの準備状態になる。LLRF-PLCのAUTO-START UP機能<sup>[2]</sup>によりRF-ONでSlowStartが自動的に開始してクライストロンから加速空洞に電力を供給する。SlowStartは自動チューナーと連動して段階的に電力を空洞に供給する。空洞投入電力と自動チューナーによってその時々最適化をしながら設定電力を供給していく。立ち上げ時は1-2週間の休止期間を経ているので空洞等の真空状態を現場で監視、確認して定格電力まで上げる。定格電力に達する途中で空洞の真空度が悪化してトリップする場合もある。現在は空洞のエージングもかなり進み1時間程度で定格電力になる。しかし装置全体が安定に落ち着くまでにはおおよそ一日程度の時間が必要である。よって、ビーム運転は立ち上げの翌日よりリニアックの調整から順次行なわれる。運転中はRFの自動復帰制御をONしている。自動復帰制御はファーストインターロック(クライストロンのPf,Pb, VSWR, アーク、TANK1およびTANK2のPf,Pb, VSWR, アーク、サーキュレータアーク)が発生してから最短で0.5秒後にRFを空洞に再投入できる機能で、この機能により空洞内の温度変化が最小限に抑えられ短時間のビーム停止で運転が再開できる。これによりダウンタイムの減少に寄与している。現在の自動復帰の設定は監視時間が1分間、Tripの連続復帰回数は5回、RFの再投入時間は1.0秒となっている。異常時からの復帰は、異常の内容を確認して解除後、AUTO-START UP機能にて現場で立ち上げる。ビームコミッショニング時のビーム条件は、エネルギー 181MeV、電流 5mA/25mA、ビーム幅 0.05msec/0.1msec、繰返し single shot-2.5Hzで加速器を

表1：運転時間およびTrip-rate

RUN.No	RUN#9	RUN#10	RUN#11	RUN#12
運転期間	9/11-10/5	10/22-11/2	11/19-11/30	12/14-12/20
運転時間 (Hr)	418	293	237	149
Trip-rate	0.312	0.045	0.344	0.040

RUN#13	RUN#14	RUN#15	RUN#16	RUN#17
1/15-1/28	2/12-2/25	4/18-4/25	5/12-6/1	6/11-6/30
252	255	170	516	462
0.042	0.074	0.236	0.082	0.089

運転している。これに対応した高周波源パラメータは、RFパルス幅650μs、繰返し25pps、クライストロン出力1.4MW(電力最大要求部)、クライストロンカソード電圧108kV(設定値)である。

表1は各RUNの運転時間とTrip-rateを示す。表1の運転時間は高周波源の運転時間(立ち上げ時の空洞コンディショニングとビーム運転時を含んだもの)である。Trip-rate算出は、RUN内の全Trip回数/運転時間/全高周波源23台(RFQは除く)。安定した運転状態のときのTrip-rateの0.1とは、1時間内で2台がTripすることを意味する。Trip-rateが比較的高いRUN#9,RUN#15は2ヶ月程度の休止期間を経ての立ち上げで空洞コンディショニング時にTripが増加した。RUN#11は中央制御棟設置の12MHzマスターオシレーターの不具合(振幅変動、サイドバンド増加)によるTripの増加である。ビームコミッショニングに対応したこの間の高周波源Trip要因は、ファーストインターロックが大半を占める。そのほかファーストインターロック以外ではHVDCPSの電源停止及び空洞の真空度異常が支配的であった。

図2はRUN#11 2007/11/19から11/21のTripを時間帯別で表示したものである。横軸は日付と各ステーション、縦軸は時刻を示す。横に並んでいるドットは同時刻に各ステーションでTripが発生したことを示す。また縦に連続でドットがある場合はTripが連続したことを示す。この期間は前述の12MHzマスターオシレーター不具合のときでTripが多発したことが確認できる。12MHzマスターオシレーター交換後の11/20 21:30以降は安定した状態(Tripの少ない)

に戻ったことが分かる。安定時のTripは、ランダムに発生し前後のステーションの影響は無いと考えられる。

### 3.2 メンテナンス及びトラブルの状況

関連施設の陽子加速器開発棟でHVDCPS (J-PARCリニアック同仕様)の20D高圧ケーブルの端末処理部で絶縁破壊が発生した。そして高圧ケーブルの改修を行なった。この経験から本高圧電源6台の20D高圧ケーブルの点検を実施、点検の結

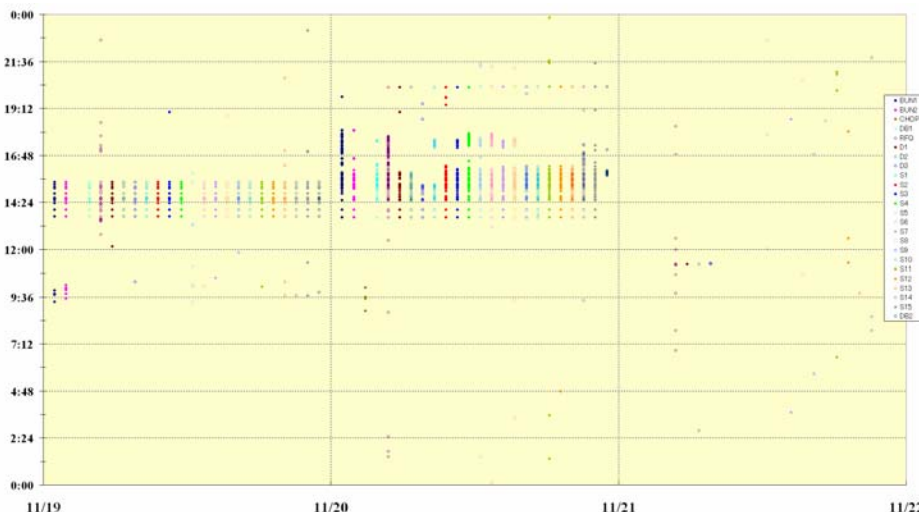


図2：Tripの発生時刻別表示(2007/11/19-21)

果、端末処理(ストレスコーン)が作業要領書どおりでないためすべてを改修した。

HVDCPSのクローバ回路誤動作は、先のメンテナンス時に光CTの分圧抵抗を処置(交換)することで電源停止になる頻度が皆無になった。しかし、Mアノード変調器内での放電は、内部において電界の厳しい部分があることわかっている。現在、対応を実施中であるがRUN#15においては以下のようなトラブルが発生した。

[現象] HVDCPS#3のフォルトが多発した(26回)。4/19 に高圧電圧の設定値を106 kVから103 kVに下げたからは回数が減った。はじめはS6クライストロンのイオンポンプ電流の増加が見られたが、その後真空度が全く悪化しない現象も見られる。[原因] アノード変調器内部を観察したところアノード分圧回路とヒーターカソード回路で放電痕が見つかった。Mアノード電流測定用CT-配線(10D)間距離が近すぎるため放電が起きたと考えられる。[対策] アノード電流用CTを撤去した。Run#16,#17ではHVDCPS#3のフォルトは発生していない。クライストロンの耐圧劣化ではないと考えられる。CTがついている変調器はあと10台ある。夏期保守期間に撤去または放電対策を実施する<sup>[3]</sup>。

表2にこれまでの運転時に発生した故障を示す。

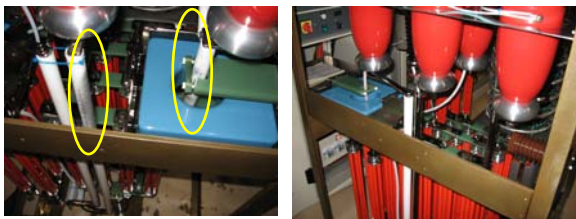


図3：Mアノード変調器内部  
(左:放電部 右:CT削除)

### 3.3 324MHzクライストロン運転時間

運転時間を図4に示す。運転時間は324MHzクライストロン別でLV,HVで6000時間前後達する。ここ1年間ではおよそ3000時間に達する。クライストロン本体は、特に大きな問題(微少油漏れを除く)も無く安定に稼動している。よって、クライストロンの交換は一度も実施されていない。

## 4. まとめ

J-PARCリニアックにおいて高周波源の運転を

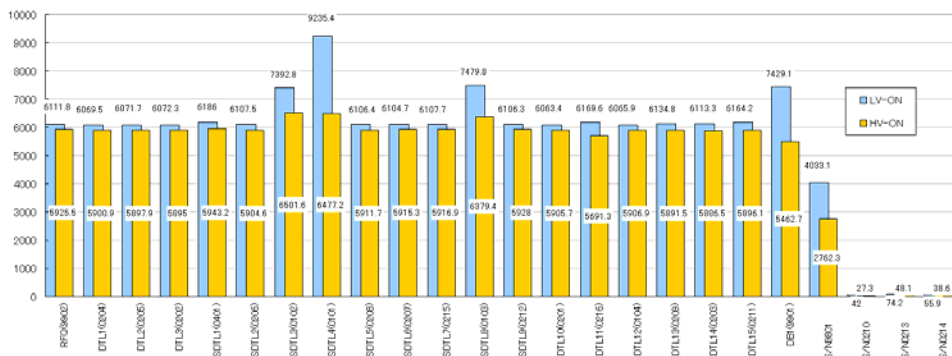


図4：クライストロン別運転時間

ビームコミッショニングに対応して行った。運転は概ね順調でダウンタイムが少なく安定に稼動した。今後の予定は9月から再開されるビームコミッショニングにおいてMLFの照射試験、その後供用開始の予定である。さらに来年度からは、181-400MeV間のリニアック増強計画の本格化が期待されるので、この運転経験をもとにリニアック高周波源の性能向上および開発に反映させていく予定である。

表2：不具合および原因・処置

現象	原因及び処置
S1,S12 サーキュレーターダミーロードの表面温度上昇 VSWR メータの表示値が変化 (1.0→1.2)	ダミーロード不良のため交換 VSWR 値元に戻る
S9- S12 でフィードバックをON にすると発振が起った	LLRF-PLC を OFF にするとatronポンの設定値が変わる
RF 一斉トリップ多発, 自動復帰しない	中央制御棟に設置されている12 MHz のマスターオシレーター(Agilent E8247C) の動作が不安定になった・手持ち品(Agilent 8662A) と交換
立ち上げ時HVDCPS # 1 の停止	AVR盤内ダイオードの不具合
S12 クライストロン(S/N0104) のオイルタンク上部のフランジから少量の油漏れあり	増し締めで対応 (経過観察中)
HVDCPSの停止	タイミング信号の不具合、タイミングユニットの故障 (交換)
S14 サーキュレーターダミーロード温度異常でインターロック作動	熱電対の中継コネクターで接触不良となっていた
RFQ のメインコイル電源 (EMI製) 出力ケーブル接続部においてケーブルの炭化および接続部の焦げが確認された	接続が経年により緩んだ 電源の出力接続を挟み込みタイプから端子台取り合いに変更
S6(HVPS#3, クライストロンS/N0207) でI/L発報 HV-OFF多発	Mアノード変調器内で放電、Mアノード電流CT撤去 (詳細を本文に記述)
S1 RF出力が出ない	I/O ボードのヒューズ切れ交換

## 参考文献

- [1] 山崎 他、2007年度本研究会Proceedings,pp.516-518.
- [2] 鈴木 他、2007年度本研究会Proceedings,pp.513-515.
- [3] 川村 他、本研究会、WP079.