

PRESENT STATUS OF RF SOURCE OPERATION AT J-PARC LINAC

Masayoshi Yamazaki^{1A)}, Etsuji Chishiro^{A)}, Tetsuya Kobayashi^{A)}, Toshihiko Hori^{A)}, Hiroyuki Suzuki^{A)},
Shozo Anami^{B)}, Masato Kawamura^{B)}, Yuji Fukui^{B)}, Kesao Nanmo^{B)}, Zhigao Fang^{B)}, Seiya Yamaguchi^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

Abstract

We have done setup of RF source in J-PARC Linac and carried out the conditioning of the acceleration cavity. In the beam commissioning phase, 2 or 3 weeks beam operations have been executed 8 times. The RF source has been stable during these operations and we have achieved the beam energy of 181MeV. In this paper, we will report the status of RF source operation and the maintenance activity.

J-PARC リニアックにおける高周波源運転の現状

1. はじめに

J-PARCリニアックは、低エネルギー部の324MHzと高エネルギー部の972MHzの高周波源から構成される。初期段階のリニアックは、低エネルギー部の加速器で構築され、181MeV(25Hz, 500 μs)の負水素イオンビームを3GeVシンクロトロンに入射する^[1]。これまで高周波源においては、2006年6月までにテストスタンドでクライストロンの各種パラメータの取得。その後、最適な配置を決定し設置を行った。10月よりクライストロン用直流高圧電源の試験調整、加速空洞のコンディショニング並びに低電力RF制御の調整を順次進めてきた。11月からビームコミッショニングが開始され、2007年6月末までに2週間以上の連続運転を8回(2週間7回、3週間1回)実施している。その間の2007年1月にはビームコミッショニングの当初目標であった負水素イオンビームをエネルギー181MeVの加速に成功し、高周波源として安定な運転によりこれに貢献した。

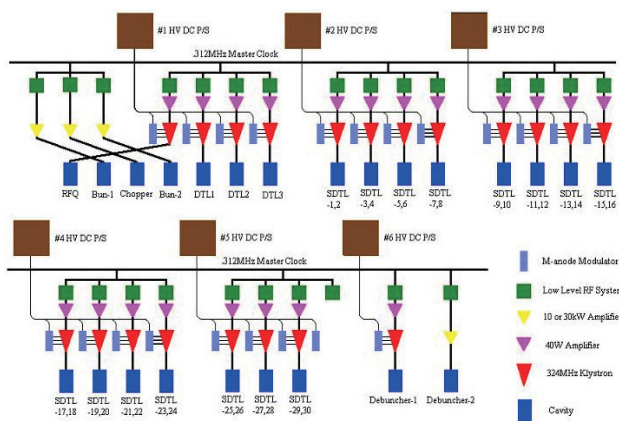


図1：高周波源の構成

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、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台の低電力RF制御(LLRF)システムがある。高周波源全体の構成を図1に示す。また、クライストロン及び直流高圧電源のパラメータを表1、表2に示す。

2.1 324MHzクライストロン

324MHzクライストロンは、テストスタンドにおいて大電力試験^[2]を実施し23台(内3台予備)の各種パラメータを取得した。取得データを基に加速空洞との整合をとって20台をギャラリーに配置した。

表1：クライストロン

Peak Power	2.5(max.3.0)MW
Pulse Width	650 μsec
Repetition	50 Hz (25 Hz)
Perveance	1.37 μA/V ^{3/2}
Gain	50 dB
Efficiency	55 %
Beam Voltage	105(max.110)kV
Beam Current	45(max.50) A
Mounting Position	Horizontal

2.2 クライストロン電源

クライストロン用電源1式の構成は、1台の直流高圧電源(HVDCPS)とMアノード変調器を含む4つのクライストロン周辺電源により4台のクライストロンを駆動する(PS1:KLY4)。電源6台を高圧電源室1に配置し合計20台のクライストロンを駆動した。

表2：直流高圧電源

DC voltage output	110 kV (incl. sag drop voltage)
Pulse width	700 μsec
Pulse repetition rate	50 Hz (max)
Voltage sag	< 5%

¹ E-mail: yamazaki.masayoshi@jaea.go.jp

2.3 低電力RF制御ならびにデータ収集

低電力RF制御 (LLRF) の構成を図2に示す。励振出力は、cPCI内で生成された信号 (324MHz) をAM&PM、RFスイッチ、プリアンプで増幅した後、位相器を通過し40Wアンプで増幅、サーキュレーターを経由してクライストロンに入力される。タイミング信号は、制御系タイミング用ユニットより予め設定されたタイムテーブルにより繰返し、パルス幅を設定できる構成になっている。ビームコミッショニング時の加速電場の安定性は位相、振幅それぞれ1度、1%が要求され、LLRF系ではデジタル・フィードバック (FB)/フィードフォワード (FF) システムの開発により要求される安定性を満たすことができた^[3]。データ収集系^[4]は、暫定的 (J-PARC 加速器制御システムが構築されるまで) に高周波制御統括ネットワークを用いて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からのデータを専用のPC (InTouch : PLC 制御・監視ツール、Wonderware製) によりデータ収集・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。

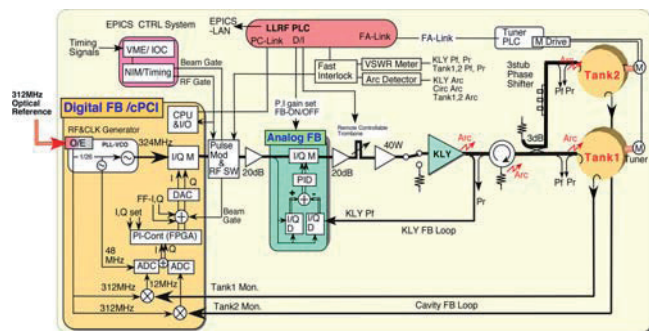


図2：低電力RF制御の構成

2.4 周辺機器 (立体回路・冷却水)

クライストロンからの出力は、サーキュレーターを通過した後、ハイブリッド電力分割器で2分配され、移相器を通過して導波管 (WR2300扁平型) によりクライストロンギャラリーから中間トンネルを経て加速器トンネルの加速空洞に伝送される。

各ステーションには、冷却水ヘッダーが配置されダミー負荷、クライストロンコレクタを冷却するための27°C±7°Cの粗温調系冷却水、またサーキュレーター、クライストロンボディを冷却する27°C±1°Cの精密温調系の冷却水が供給される。

3. クライストロン設置

クライストロンは、全長5m、重量は約3.2 tであり水平設置構造になっている。これらを天井クレーン (揚程10m、耐荷重5t) にて移動設置する。設置時には立体回路導波管とクライストロン出力部を接続するが、クライストロンの出力窓に応力がかからぬようにチェーンブロック4本 (耐荷重1 t) を用いてクライストロンの平行度を微調整し、注意深く設置した。設置後、冷却水配管の接続、高圧ケーブルの

接続、制御用配線の接続、エックス線シールドの設置を実施して完了となる。この交換作業は、作業員5名によりおよそ3時間で可能となった。

クライストロンの固定は、1台4箇所をM12めねじ形メカニカルアンカーを使用して固定する。その強度においては施工方法やコンクリート強度に大きく依存するため実際に試験を行い、引抜き力を調査した。長期引抜き力 (静的引抜き力) が900kg程度であった。また短期引抜き力は、長期引抜き力の1.5倍とみなしているため、M12めねじ形アンカーの短期引抜き強度は1300kg程度と考えられる。許容せん断力は、材質により異なるがM12ボルトの場合、普通鋼材で791kgある。よってこのアンカーは、耐震クラスS (引抜き力：900kg、せん断力：750kg) の強度を有していることが確認できた。クライストロンの固定は今メンテナンス期間中に実施する予定である。



図3：クライストロン設置 図4：アンカー固定

4. 高周波源運転

4.1 運転状況

高周波源運転は、2006年10月より加速空洞のコンディショニングが開始、11月後半からビームコミッショニングに対応した。ビームコミッショニングは、2週間の連続運転でRUN1~RUN7 (間の2週間は保守) まで実施し、RUN8のみ3週間連続運転を行なった。連続運転中では日中はビーム試験を行い、夜間はコンディショニングを行った。初期のビームコミッショニングは加速空洞のコンディショニングが不十分で頻りにインターロック (主に空洞のRF反射) が作動していたためRFパルス幅を300 μs (繰返し：25pps) とした。その後LLRF系PLCに自動復帰機能^[5]が付加され、ファーストインターロック (空洞のRF反射など) でトリップした場合は、1秒後に自動復帰するためコンディショニングが進んだ。3月頃には空洞によっては全くトリップなしで2週間運転できるようになるまでコンディショニングが進んできたのでRFパルス幅を順次600 μsに変更した。この間の高周波源のダウンタイム要因は、直流高圧電源 (#3, #5HVDCPS) のクローバ回路誤動作^[6]による電源停止が支配的であった。

4.2 エックス線測定

クライストロン周辺のX線測定を実施した。ビーム運転時の測定結果で最も高い線量率を示している

のはS9コレクタ部の冷却水ドレン付近の $15 \mu\text{ Sv/h}$ ($600 \mu\text{ s}$, 25pps , 1.0MW)である。この場所での1週間当たりの線量は 0.6mSv/週 となる。よって、線量限度である 1mSv/週 を超えないことを確認した。今後、供給電力の増加により線量率が高くなる場合は、冷却水ドレン部に局所遮蔽を設置して漏洩を防止する。定期的な監視が必要となる。

4.3 漏洩電波測定

J-PARCリニアックでは、高周波源からの電波漏洩を法規に定める最大許容値以下(敷地境界に $100 \mu\text{ V/m}$ 以下)に抑制しなければならない。調査の結果、高周波源からの電波漏洩箇所は、主に(a)同軸管接続部、(b)同軸型ダミー負荷、(c)同軸型高調波フィルタ、(d)半導体増幅器からであった。(a)~(c)の電波漏洩箇所は、外導体を確実に金属接触化することよりの漏洩を低減した。敷地境界での漏洩電波を測定した結果、漏洩源からの距離が離れているため電波強度が低下し、最近接境界点で $77 \mu\text{ V/m}$ で許容値以下であることを確認した^[7]。

4.4 故障の状況

表3にこれまでの運転時に発生した故障を示す。

表3：主な故障について

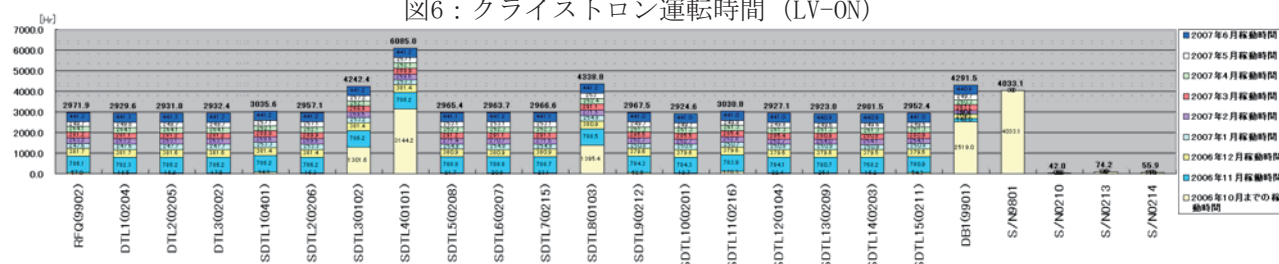
現象	原因及び処置
Mアノードバイアス電源絶縁油により膨潤して出力停止	耐油タイプのバイアス電源と交換(初期発生のため全数交換)
#3, #5HVDCPSでMアノード波形異常(放電)	Mアノード変調器内アノードグラウンド間で放電発生
クローバ回路誤動作による電源停止(#3, #5HVDCPS)	光CTの分圧抵抗焼損による動作不安定(抵抗交換)
S6 ヒータ電源停止	増幅用FET故障による
メインコイル電源発振音発生、電圧表示の誤動作	電源内シールド線の取り回しの改善、変圧器の共振防止
S13 (S/N0209) クライストロン絶縁油漏れ(図5参照)	ガンポールピース固定用ボルトの緩み(微量漏洩中)
制御系タイミング変更時の高圧電源停止	タイミングテーブルの設定ミス
D1 サーキュレーターから放電音	金属片が内部に付着(撤去)

クローバ回路の誤動作は、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が推測されており今後その対応をする予定である。

4.5 クライストロン運転時間

運転時間(LV-ON)を図6に示す。運転時間の累計は

図6：クライストロン運転時間 (LV-ON)



調整時間を含め、およそ3000時間に達する。(3000時間を超えるクライストロンはKEKで試験調整運転実施。)クライストロン本体は、特に大きな問題(油漏れを除く)も無く安定に稼動している。

5. まとめ

J-PARCリニアックにおいて高周波源の運転を加速空洞コンディショニング及びビームコミッショニングの期間に行った。最終のビームコミッショニングでは、負水素イオンビームエネルギー 181MeV 、繰返し 2.5pps で加速器を運転している。この時の高周波源パラメータは、RFパルス幅 $650 \mu\text{ s}$ 、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 であり、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。この高周波源の運転経験をもとに9月から開始される 3GeV シンクロトロンへの入射を目指して、リニアック高周波源の性能向上を図る。

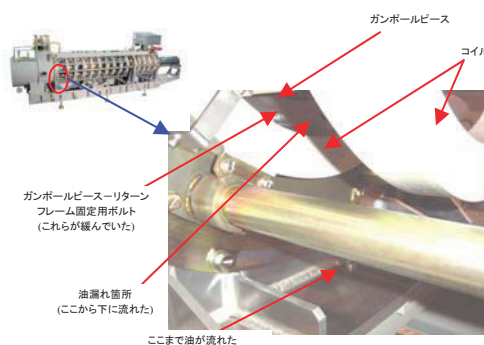


図5：クライストロン絶縁油漏れ、ガンポールピースとリターンフレームの間から1滴/3時間程度の微量漏洩(経過観察中)

参考文献

- [1] URL:<http://www.j-parc.jp/>
- [2] M.Yamazaki, et al., "Status of 324MHz RF Test Stand at the J-PARC Linac", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.391-393,2006.
- [3] 小林 他、本研究会、TP29.
- [4] 福井 他、本研究会、TP27.
- [5] 鈴木 他、本研究会、TP30.
- [6] 川村 他、本研究会、TP26.
- [7] 千代 他、本研究会、TP32.