

STATUS OF RF SYSTEM FOR THE J-PARC LINAC

Etsuji Chishiro^{1,A)}, Toshihiko Hori^{A)}, Tetsuya Kobayashi^{A)}, Hiroyuki Suzuki^{A)}, Kazuaki Suganuma^{A)},
Masayoshi Yamazaki^{A)}, Shozo Anami^{B)}, Zhigao Fang^{B)}, Shigeki Fukuda^{B)}, Yuji Fukui^{B)}, Chikashi Kubota^{B)},
Eiichi Kadokura^{B)}, Masato Kawamura^{B)}, Shinichiro Michizono^{B)}, Seiya Yamaguchi^{B)}, Mitsuhiro Yoshida^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)
2-4 Shirakata Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

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

Abstract

Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) is provided a high power proton beam for nuclear physics, material science, life science and nuclear technology. The linac building was completed in April 2005. The installation of rf apparatuses has started. In first phase of J-PARC project, the 324MHz RF sources are operated to drive the low-beta linac. Status of the RF system is presented.

J-PARCリニアックにおける高周波源の現状

1. はじめに

大強度陽子加速器計画 (J-PARC)^[1]のリニアックは、低 β 部の324MHzと高 β 部の972MHzの高周波源から構成される。J-PARCの第1期計画では、リニアックは低 β 部の加速器で構築され、180MeV (25Hz, 500 μ s)の負水素イオンを3GeVシンクロトロンに入射する。図1は、第1期計画でのリニアックの構成図を示す。クライストロンは、RFQ (1空洞)、DTL (3空洞)、SDTL (30空洞)を駆動する。また、ビームマッチングセクションのデバンチャ空洞 (1空洞)も駆動し、計20箇所のステーションが構築される。RF出力10kWの半導体増幅器は、バンチャ・デバンチャ用に3台設置され、チョップ用に30kW出力の増幅器が設置される。

J-PARCリニアック棟は今年度4月に完成し、5月よりRF機器の据付が本格的に始まった。リニアック棟には、高周波源を設置するクライストロンギャラリ (4,800m²)、クライストロン電源を設置するクライストロン高圧電源室 (1,800m²)、テストベンチや機器のメンテナンスエリアであるクライストロン準備室 (900m²)が設けられている。本稿では、これら建屋への高周波源の設置状況と予定を報告し、また開発・評価結果についても記述する。

2. 設置状況

2.1 324MHzクライストロン

324MHzクライストロン (東芝電子管デバイス社製、E3740A) は、プロトタイプ機の評価・改良^[2,3]の後、21台が'01年10月から'05年3月にかけて量産された。これらの管は工場で大電力試験され、良好な特性が確認された。表1は量産管の試験結果の集計を示す。全ての管において、最大ビーム電圧110kVで、RF出力3MW、効率55%以上、ゲイン50dB以上で動作し、要求仕様を満足していた。また、管ごと

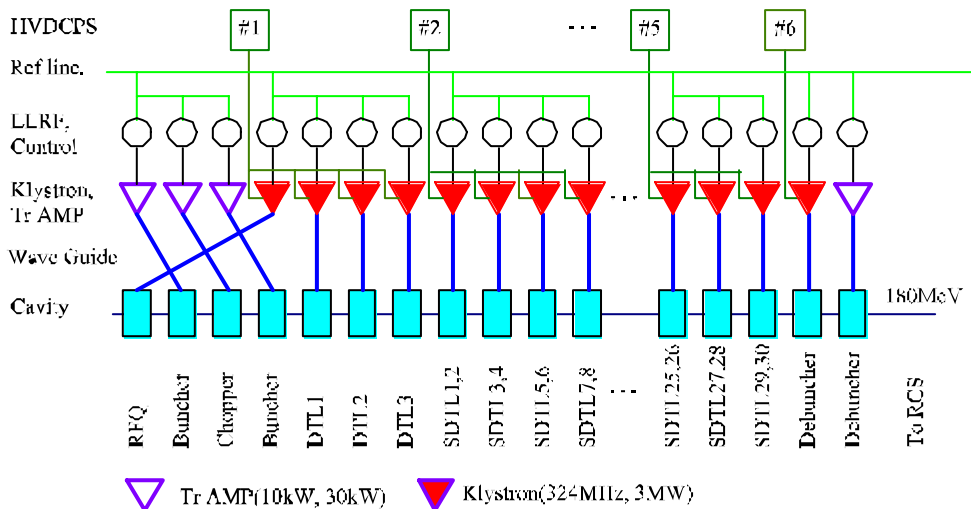


図1: J-PARC第1期計画での高周波源の構成図

¹ E-mail: chishiro@linac.tokai.jaeri.go.jp

のばらつきも小さかった。

現在、プロトタイプ機を含め23本のクライストロンがJ-PARC及びKEKに保管されており、出力部の冷却構造を改造した後(空冷方式からヒートパイプ方式)、9月からギャラリーにおいて大電力試験を行う。

表1：量産管の試験結果 (21本分)

	平均	標準偏差
RF出力 (MW)	3.01	0.03
ビーム電圧 (kV)	110.1	0.9
アノード電圧 (kV)	91.9	1.3
ヒータ電流 (A)	23.2	0.6
ビーム電流 (A)	48.0	0.6
効率 (%)	56.9	1.0
ゲイン (dB)	55.3	1.5
Perveance ($\mu\text{A}/\text{V}^{1.5}$)	1.31	0.01

2.2 クライストロン電源

クライストロン電源1式は、1つの直流高压電源(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から構成される。J-PARCクライストロン電源システムは、5式のHVDCPS (110kV出力) とバンチャー用のHVDCPS (80kV出力) 1式、および20式のクライストロン周辺電源からなる。現在、図1中の#1の電源を除く5式の電源がギャラリー及びクライストロン電源室1に設置中であり、8月より試験調整を行う(図2)。また、電源#1は、今年度10月以降にKEKから移設する。

本電源は、KEK及び原研のテストベンチで長期にわたり試験評価を行ってきた^{[4],[5]}。この間、Mアノード変調器内部のコロナ放電対策、クローバ動作時での接地電位上昇対策、サイリスタ不動時の変圧器飽和検出対策など行ってきた。また、J-PARC建屋に設置するに際し、油入機器を全て密封化し、消防法で義務付けられる特殊消火設備(ハロゲンガス化物消化設備)の適用除外を図った。

2.3 立体回路

クライストロンからの出力は、サーキュレータ



図2：クライストロン高压電源室1設置状況

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(スタブ型)を通過した後、加速器トンネルに伝送される。加速器トンネルでは、同軸導波管変換器により同軸管(WX-203D)に変換されカプラに接続される。RFQ、DTLでは、2つのカプラに電力を伝送し、SDTLでは、1クライストロン当り2空洞に電力を伝送する。サーキュレータ等の主要構成機器はフルサイズの導波管(WR-2300)で製造されている。ギャラリーから加速器トンネルまでの伝送には、重量及びコスト削減のためハーフサイズの導波管が使用されている。これらの導波管部品は、陽子リニアック棟で大電力試験された後^[6]、全数が生産された。これら立体回路も現在、ギャラリーに設置中であり(図3)、今後、位相長、結合度等を測定・調整を順次行う。

2.4 冷却水・電気

クライストロンステーションには、ダミー負荷、クライストロンコレクターを冷却する為に27度±7度の粗温調系の冷却水、及びサーキュレータ及びクライストロンボディーを冷却する為に27度±1度の精密温調系の冷却水が供給される。これら冷却水はヘッダーを経て耐圧ホースにて各部に接続される。冷却水は本年度7月末から供給される。

ギャラリー壁面分電盤には、RF系動力(200V)、磁石系動力(200V)、制御系単相(100V)の3系統が準備されている。これらの系は、19インチ制御筐体内にある低压分岐盤により各ラックに分岐・分配される。これにより壁分電盤の占有面積の低減を図った。

3. 開発・評価結果

3.1 972MHzクライストロン

次期加速器増強に向け、972MHzクライストロン(東芝電機社製、E3766)の開発を行っている。972MHzクライストロンのプロトタイプでは強い発振が観測された^[7]。当初、これらの発振はガン発

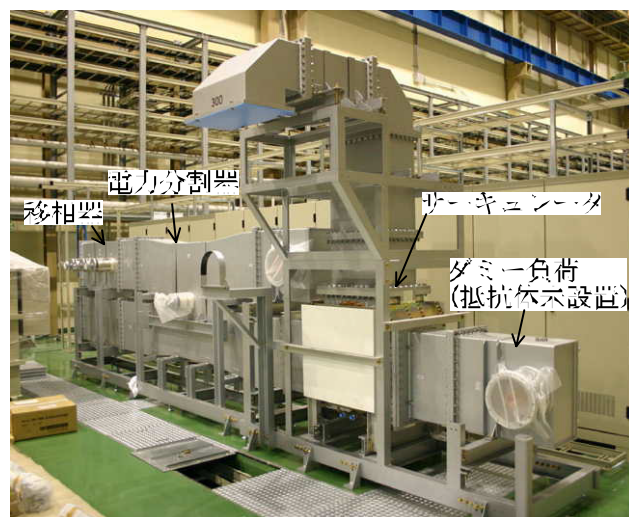


図3：立体回路(WR-2300)の設置状況

振と考えられていたが、発振周波数と中間空洞(第2、第3空洞)の共振周波数に強い依存性が見られた。各種検討の結果、中間空洞との高次モード結合により発振が起因していることが判明した^[8]。これらの結果を考慮し、高次モード結合が起こりにくい中間空洞をもつ2号機を製造し、評価した。試験の結果、プロトタイプに見られた発振は観測されなかったが、ビーム電圧106kV以上で新たな発振が観測された。この発振も上記の機構で発生していると考えられ、更に対策を施した3号機を製造している。この管は今年度8月に試験を行う。

クライストロン2号機の集束磁界を規定値より5%弱めることにより本クライストロンは、定格最大電圧110kVまで発振なしで運転することができる。図4は、この時の入出力特性を示す。ビーム電圧108kVで、飽和出力3MW、効率55%、ゲイン51dB、パービアンス $1.28 \mu A/V^{1.5}$ が得られた。これらの値は仕様を満足するものであるが、入出力特性の連続性や安定性など、更なる評価を行う。

3.2 324MHz LLRF及びRFシステム制御

J-PARC高周波源のLLRFは、空洞内の電圧・位相を $\pm 1\%$ 、 $\pm 1^\circ$ 以内に安定化させるため、デジタルフィードバック(FB)系とこのループの内側にクライストロンの入出力特性を安定化させるアナログFB系から構成される^[9]。両FBとも高周波のI/Q成分をPI制御することによりFBをかけている。アナログFBは、主にクライストロン電源の大きなサグに対しクライストロン出力の振幅・位相を安定化させるために適用される。デジタルFBは2系統のピックアップ信号をベクターサムし、空洞電圧の制御を行う。また、進行波信号とピックアップ信号から空洞の共振位相の検出を行う。この位相情報からPLC経由でチューナの制御を行う。

LLRFの評価試験はSDTL二空洞を用いて行われた。アナログFB及びアナログ・デジタルFB組合せ試験により、パルス内の振幅及び位相をそれぞれ規定値以内に安定化できることを確認した。また、チューナ制御において18時間の連続運転によりその健全性を確認した^{[10],[11]}。アナログFBは、24式

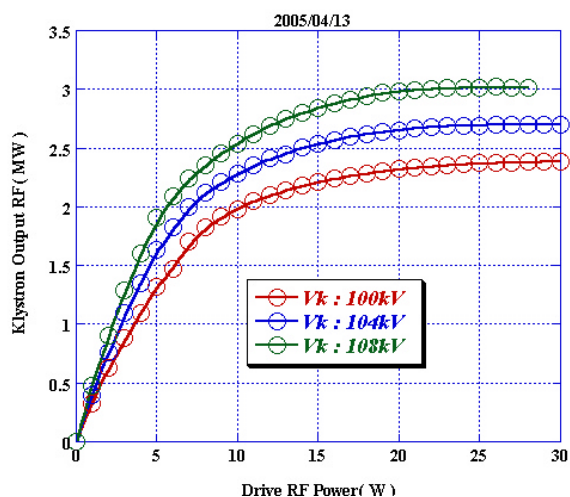


図4：972MHzクライストロン2号機の入出力特性

製造されギャラリーに設置されている。また、デジタルFBも今年度中に製造を完了する。

LLRFを含め高周波源機器の統括的な制御はPLCにより行われる。このPLCは、機器の操作・設定・監視、上位との通信などに使用され、またスロースタートや自動復帰・自動コンディショニングなどの付加機能を備えさせる計画である。現在、LLRFとの通信・チューナ制御・スロースタート制御が終了し、今後、付加機能のソフト開発を行う予定である^[12]。

3. まとめ

今年度9月からギャラリーの一区画を管理区域に設定し、テストベンチを2基立ち上げる。ここでは、クライストロン特性のデータ取得、制御ソフトの作製・修正、他グループとの取り合い確認を行う。

参考文献

- [1] "The Joint Project for High-Intensity Proton Accelerator", KEK Report 99-4 and JAERI-Tech 99-056, 1999.
- [2] Z. Fang, et. al., "Instability Caused Backstreaming Electrons in Klystron", Proceedings of the APAC2001, Beijing, China, 2001.
- [3] S. Fukuda, et. al., "Performance of a 324-MHz Klystron for a High-Intensity Proton Accelerator", Proceedings of LINAC2002, Gyeongju, Korea, 2002.
- [4] M. Kawamura, et. al., "Klystron Power Supply Systems for J-PARC Linac", Proceedings of the 1st Annual Meeting Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.287-289, 2004.
- [5] T. Hori, et. al., "Present Status of 972MHz RF Test-Stand at JAERI", Proceedings of the 1st Annual Meeting Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.212-214, 2004.
- [6] S. Yamaguchi, et. al., "Overview of the RF System for the JAERI/KEK High Intensity Proton Linac", Proceedings of LINAC2002, Gyeongju, Korea, 2002.
- [7] E. Chishiro, et. al., "Development of 972MHz Klystron for High-Intensity Proton Accelerator Facility", Proceedings of LINAC2002, Gyeongju, Korea, 2002.
- [8] M. Yoshida, et. al., "Oscillation Analysis of J-PARC 972MHz Klystron", These Proceedings.
- [9] S. Anami, et. al., "J-PARC Linac Low Level RF Control", Proceedings of the 1st Annual Meeting Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.296-298, 2004.
- [10] S. Michizono, et. al., "Digital LLRF Feedback Control System for the J-PARC Linac", These Proceedings.
- [11] T. Kobayashi, et. al., "Performance Study of Low-Level RF Analog Feedback Control System for J-PARC Linac", These Proceedings.
- [12] S. Anami, et. al., "Automatic Recovery Control of J-PARC Linac RF Sources", These Proceedings.