

972MHz HIGH POWER RF SOURCES FOR J-PARC LINAC

Etsuji Chishiro^{1,A)}, Masato Kawamura^{B)}, Yuji Fukui^{B)}, Shinichi Shinozaki^{A)},
Suzuki Hiroyuki^{A)}, Zhigao Fang^{B)}, Tetsuya Kobayashi^{A)}, Fujio Naito^{B)}

A) Japan Atomic Energy Agency, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

B) High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In the J-PARC Linac, upgrade with the output energy of 400MeV is performed. In this report, we describe overview of the upgrade scheme and the development status of 972MHz high power rf components. In development of 972MHz klystron, we converted #1 tube into the klystron with a small size output window, and evaluated the characteristics. In klystron power supply, although there was no new development element, the improvement to obtain high reliability was added to the anode modulator. In the modified circulator, VSWR characteristic of satisfying specification was achieved. However, discharge occurred on the ferrite surface at the total reflection test.

J-PARCリニアック972MHz大電力高周波源

1. はじめに

J-PARCのリニアックは、324MHzで181MeVまで負水素イオンを加速する低エネルギー加速部と972MHzで400MeVまで加速する高エネルギー加速部から構成される。2006年よりリニアックは、低エネルギー加速部のみで運転を行い、後段の3GeVシンクロトロンにビームを供給している。また、2009年より400MeV加速を行うためのエネルギー増強計画が実行されており、2012年からのビーム供給に向けて高エネルギー加速部の機器の製作・据付けが行われている。図1は、高エネルギー加速部の高周波源の構成を示す。高エネルギー加速部のクライストロンステーションは25台からなり、DTLとACSとの間のマッチングセクションにバンチャー空洞用として2台、ACS加速空洞用として21台、そして、RCSまでのビームトランスポートにデバンチャー空洞用として2台が設置される^[1]。現状では、2012年まで181MeVのビーム供給が必要なため、稼動中の機器

と干渉しない場所にエネルギー増強用の機器が据付けられており、2012年の7月から10月にかけて400MeV運転の機器配置に切り替えを行う計画である。

2. 972MHzクライストロン

972MHzクライストロンの開発は2001年より開始され、プロトタイプ(1~2号機)のクライストロンでは中間空洞でのモノトロン発振により安定な動作ができなかったが^[2]、第2、第3空洞の設計変更により良好な動作が確認された(3号機)。また、量産を行う前にコレクターの小型化を図り、重心位置の低下とコスト削減を行った(4号機)。現在、量産を行っており、5~9号機まで4号機と同じ設計で製造されている。

量産中ではあるが、新たな設計変更がクライストロン1号機を用いて行われた。変更点は、出力窓及び出力空洞から窓までの導波管である。これまでの

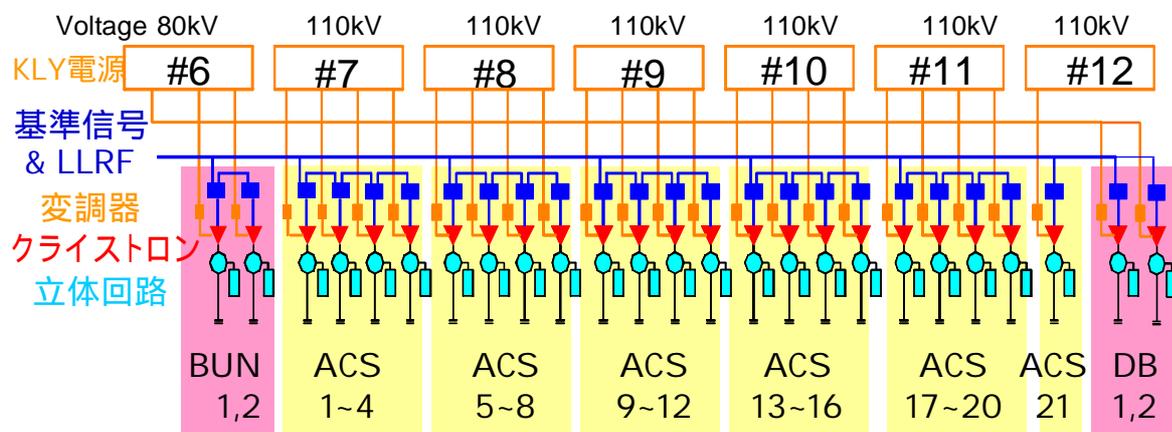


図1: J-PARC リニアック972MHz高周波源の構成図

¹ E-mail: etsuji.chishiro@j-parc.jp

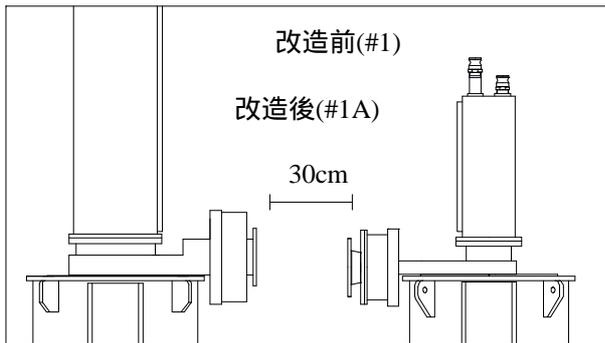


図2 クライストロン出力窓の小型化

表1 クライストロン1号機出力窓の改造

	改造前(#1)	改造後(#1A)
窓構造	ビルボックス	
フランジ規格	WR-975	WR-770
セラミック材	HA-95	HA-997
導波管	ステップ	ストレート

表2 クライストロンの仕様値及び#1A管動作値

	仕様値	動作値
ビーム電圧 (kV)	110以下	110
ビーム電流 (A)	50以下	47
RF出力 (MW)	3.0	3.0
ゲイン (dB)	47以上	52
効率 (%)	55以上	58
帯域 (MHz)	+/-5以上	+/-5以上

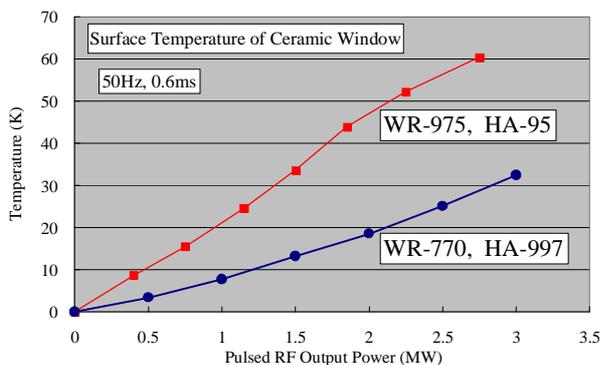


図3 出力窓中心部表面温度特性

出力部は、直径280mmのセラミックを用いたため大きく、また、ステップ導波管を採用しているため製造工程が複雑で真空リーク等により歩留まりが悪かった。これを改善するため導波管をWR-975からWR-770に変更してセラミック径を小さくし、また、導波管を扁平のストレート管とした。図2は、出力窓の小型化を行う前後の1号機の出力窓部の形状を示し、表1に変更点をまとめる。窓材料は発熱密度が高くなることから、高純度アルミナ材を選択した。1号機に出力窓の小型化やこれまでに行ってきたコレクターの小型化など改良点を加えて改造を行った結果、改修機(#1A)では要求仕様を満足する結果が得られた(表2参照)。また、出力窓中心部表面温度

を放射温度計により測定した結果を図3に示す。小型化窓の場合、セラミックでの損失が少なく、かつ中心部からスリーブまでの距離が短いため変更前の窓温度上昇の約半分の値となっている。また、導波管サイズを落としているため、帯域特性が悪くなると予想されたが、4~9号機と同じ帯域特性が得られた。今年度、10~19号機までの10本のクライストロンが小型化した出力窓で製作される計画である。

3. クライストロン電源

高エネルギー加速部のクライストロン電源は、7式のカソード直流高圧電源(DCPS)と25式のアノード変調器(MANOD)から構成され、これら電源の仕様は324MHzクライストロン電源とほぼ同じものとなっている。このため、クライストロン電源で新たに開発された機器はないが、アノード変調器の耐圧強化が新規に製作される変調器に施された。

低エネルギー加速部に使用されているアノード変調器は約17,000時間稼働しているが、長時間の運転により、高電界部で絶縁耐圧強化に使用されたテフロン等の固体絶縁体の耐圧劣化が進行し、変調器内部で放電が頻発するようになった。高エネルギー加速部で使用する変調器は、絶縁設計を見直し、固体絶縁体を用いず、絶縁油だけで耐圧をもたせる内部配置に変更された(図4参照)。



図4 アノード変調器内部構造

4. 立体回路

972MHz高周波源の立体回路は、WR-975規格で製作されており、クライストロンからの出力は、サー



図5 加速器トンネル内の導波管敷設状況

キュレータを経てそのまま空洞に伝送される。タミーロード(水負荷)、可とう管、方向性結合器等の構成機器は、フルデュティー試験(3MW、3%)を実施し、その健全性を確認した後、量産を行った。現在、サーキュレータを除く全ての立体回路はリニアック棟に搬入され、ギャラリーから加速器トンネルまでの敷設作業が終了している(図5)。

サーキュレータの開発において、プロトタイプ(原型)のサーキュレータでは、通過電力が大きくなるとサーキュレータからの反射電力が大きくなる問題が生じた。このため、通過電力が定格の3MWになると、クライストロンの許容最大耐電圧 $V_{SWR}=1.4$ 近くまで増加し、クライストロンの正常な動作に影響を及ぼす恐れがある。これは、プロトタイプ(原型)のサーキュレータに使用したフェライトの温度特性が悪いためであり、飽和磁化率の温度特性が平坦なフェライトを使用し、また、フェライトの冷却効率を上げた構造のサーキュレータを製作し、その特性を評価した。図6は、プロトタイプと改良型(改善型)のサーキュレータの通過電力に対する V_{SWR} 特性を示す。改良型では3MW通過時に V_{SWR} が1.2であり、クライストロンの負荷 V_{SWR} の仕様値と同等となった。しかしながら、改良型(改善型)のサーキュレータでは全反射試験時に放電が発生した(図7)。現在、サーキュレータ内部の電界強度を下げ、放電が発生しない構造になるよう再設計が行われている。

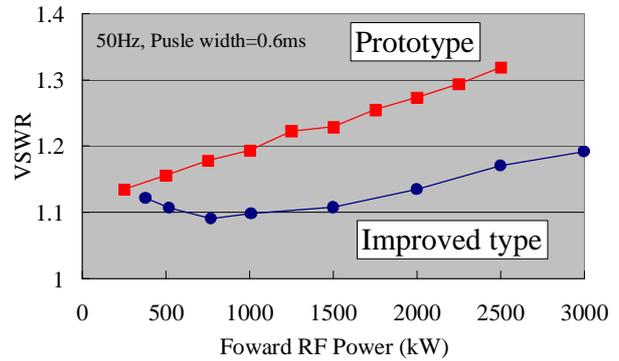


図6 サーキュレータ入力ポートの V_{SWR} 特性



図7 全反射試験時でのサーキュレータ内部放電

5. まとめ

高エネルギー加速部用の大電力高周波源機器の量産は、クライストロンとサーキュレータを除きほぼ終了しており、現在、クライストロンギャラリーに設置中である。クライストロンは、今年度末までに計19本納入され、来年度に残り6本と予備機を発注する計画である。サーキュレータは、内部電界が低くなるよう再度設計がなされており、今年度中に大電力試験を実施し、その結果をもって量産の成否を決定する予定である。

参考文献

- [1] E.Chishiro, et. Al., "972MHz RF Sources for J-PARC High Energy Linac", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, Tokai, Japan, pp.1059-1061, 2009.
- [2] K.Hayashi, et. Al., "Klystron Development by TETD", Proceeding of PAV07, Albuquerque, USA, pp2688-2690, 2007.