

HIGH POWER TEST OF S-BAND WAVEGUIDE SWITCH

Tsutomu Taniuchi^{1,A)}, Toshiaki Kobayashi^{A)}, Shinsuke Suzuki^{A)}, Hiromitsu Tomizawa^{A)}, Hideki Dewa^{A)}, Hirofumi Hanaki^{A)}, Akihiko Mizuno^{A)}, Kenichi Yanagida^{A)}, Atsushi Miura^{B)}, Kunio Suzuki^{B)}, Kibatsu Shinohara^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (SPring-8)

1-1-1 kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

^{B)} Nihon Koshuha Co., Ltd.

1119 Nakayama-cho, Midori-ku, Yokohama, 226-0011

Abstract

A high power test of a vacuum waveguide switch has been carried out using an 80 MW klystron in SPring-8. This waveguide switch will be used for a backup system of an RF source for the electron injector and klystron drive line. After the RF conditioning, the maximum RF power of 62 MW in peak, 1 μ s in pulse width and 10pps in repetition rate, has been achieved without serious problems in RF and vacuum characteristics.

Sバンド真空導波管切替器の大電力試験

1. はじめに

SPring-8線型加速器では供用開始以来、エネルギー圧縮システムやBPMシステム等を導入するとともにハードウェア及びソフトウェアの様々な改良を重ねた結果、ビームの安定供給が実現されているが、近年蓄積リングのトップアップ運転開始によりさらなるビーム安定化に加え機器トラブルによるダウンタイムの低減が求められているため、機器の高信頼化や二重化が進められている¹⁾。

クライストロン及びモジュレータはクライストロンの管内放電やサイクロトンの不調など他の機器に比べてビーム運転停止に至るトラブルが多い傾向にある。SPring-8線型加速器では通常2台のモジュレータをスタンバイさせており、トラブル時には入れ替えを行ってビーム運転を続行している。スタンバイ時も、ビーム・トリガーと同期したモジュレータ・トリガーがマスクされてビーム加速に影響しないようにRFが出力されているので、入れ替え時のRFコンディショニングによるロスタイムはない。しかしながら最上流部のH0モジュレータについてはバンキング・セクションから第1加速管にいたる電子入射部とクライストロン励振系のRF源となっているため、スタンバイ機によるバックアップはできない状況にある。そこで、H0と隣のH1のRF投入先を導波管切替器により切り替えるバックアップ・システムの構築している。今回導波管切替器を製作し、H0及びH1のRFパワーレベルで使用できるかどうか調べるための大電力試験を行った。

2. 電子入射部及びクライストロン励振系RF源バックアップ・システム

SPring-8線型加速器における現在の電子入射部RFシステムとバックアップ・システム導入案をそれぞれ図1、図2に示す。

れ図1、図2に示す。

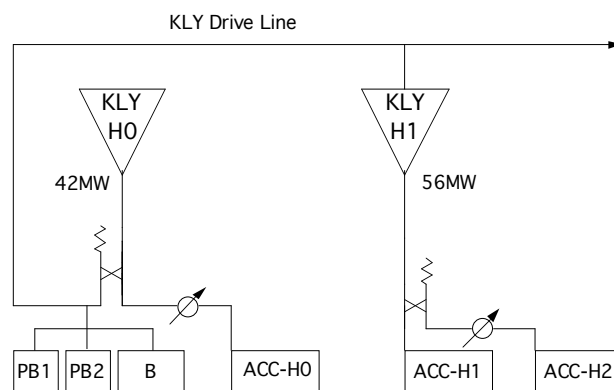


図1 現在の電子入射部RFシステム

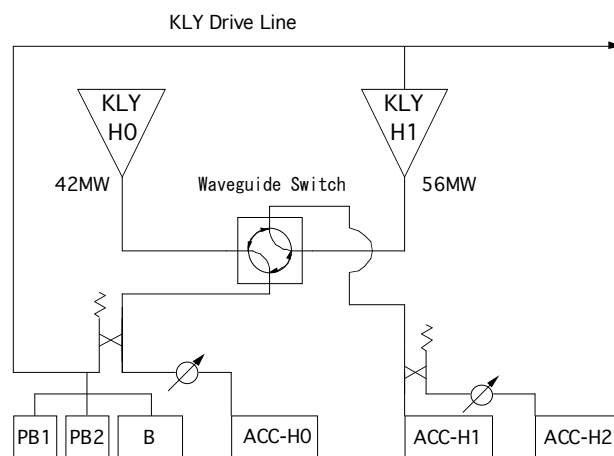


図2 バックアップ・システム導入案

¹⁾ E-mail: ihcuinat@spring8.or.jp

現状では、H0クライストロンのRF出力は7dB方向性結合器により分岐され80MWクライストロン・ドライブレインへ供給されるとともに、2台のプリバンチャー空洞とバンチャー加速管、H0加速管からなる電子入射部へ供給されている。バックアップ・システムでは、H0モジュレータがトラブルにより長時間停止する場合、導波管切替器によりH1のRF伝送ラインをH0伝送ラインへ切り替えることにより長時間のビーム運転停止を回避することができる。

本バックアップ・システムで導波管切替器に要求される最大伝送RFパワーは表1の通りである。

表1 導波管切替器に要求される最大伝送RFパワー

ピークパワー	60 MW
パルス幅	2 μ s
繰り返し	10 pps

3. 真空導波管切替器

RF投入先を切り替えるための導波管切替器としては従来からSF₆仕様の製品が存在しているが、Sバンド真空仕様の製品が日本高周波（株）により開発された。これはピークパワー10MW仕様の製品で、東京理科大学赤外FEL研究センターの線形加速器で稼働実績があるが、今回より高いピーク及び平均電力に耐えうるよう改良を施した。

主な改良点は以下の通りである。

- ・ 2分割で製作されるローター部の接合方法をボルト締めから拡散接合に変更。接合面を鏡面加工後拡散接合することで接合面にできる空気溜りを極力減らして真空の安定化を図り、放電を防ぐ。
- ・ ローター部を電解研磨。ローター表面のミクロな突起を研磨することでRFコンディショニング時間の短縮及び放電頻度の低減を図る。
- ・ ローター部から外部への熱的なコンダクタンスが小さいため、ローター下部にサーマル・コンダクタ構造を追加。
- ・ チョーク及びサーマル・コンダクタ部の真空排気を強化するためローター下部に排気ポートを追加。

完成した導波管切替器のRF特性を表2に示す。

表2 導波管切替器のRF特性

	ポート1→2	ポート3→4
VSWR	1.03	1.03
挿入損失	0.040dB	0.048dB
アイソレーション	-87dB以下	

さらに、10MW仕様の製品は手動方式であったが、遠隔からの動作制御を可能とするために電動駆動構造を付加した。切替動作時間はおよそ5秒である。

4. 大電力試験

4.1 試験装置

本導波管切替器の大電力性能を評価するため試験用立体回路を製作し、80MWクライストロン（東芝E3712）を用いて大電力試験を行った。試験用立体回路を図3に示す。

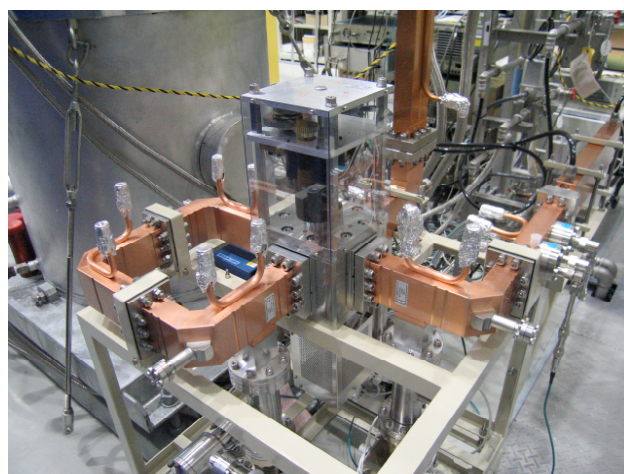
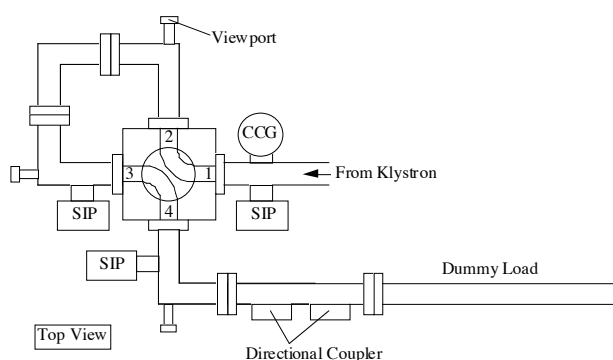


図3 試験用立体回路

クライストロンからのRF伝送経路は切替方向により、ポート1→2→3→4→ダミーロードまたはポート2→1→ダミーロードの2経路を選択できる。切替器の前後に方向性結合器付導波管を配置しており、それぞれ通過及び反射パワーをモニタできる。ダミーロードは三菱重工のSiCタイプ（平均電力5kW仕様）である。導波管内は3ヵ所の排気ポート付き導波管に取り付けられた排気速度45L/sのイオンポンプ（ULVAC PST-050CU）により超高真空中に保たれ、コールドカソード・ゲージにより圧力をモニタしている。また、切替器下部の排気ポートにも排気速度

30L/sのイオンポンプ（ULVAC PST-030CU）1台が取り付けられておりチョーク及びサーマル・コンダクタ部を排気している。

4.2 RFコンディショニング

今回のRFコンディショニングはパルス幅 $1\mu\text{s}$ （最終目標は $2\mu\text{s}$ ）、繰り返し 10pps で行った。まず切替方向をポート2 $\rightarrow$ 1 $\rightarrow$ ダミーロードとして、最もコンディショニング時間がかかると予想されるSiCダミーロードのコンディショニングを行った。本試験で使用したダミーロードはこれまでRF電子銃試験装置で使用していたものであるが、ピークパワーで最大30MW程度までしかコンディショニングされていなかった。

結果は図4に示すように、約130時間のRFコンディショニングによりピークパワー62MWに到達した。コンディショニングの最終段階でパワーが57MWから62MWに急激に増えているのは、クライストロン電圧が最大に達してもRF出力が60MWを超えなかったため、フォーカスコイルを微調整して出力を上げたためである。

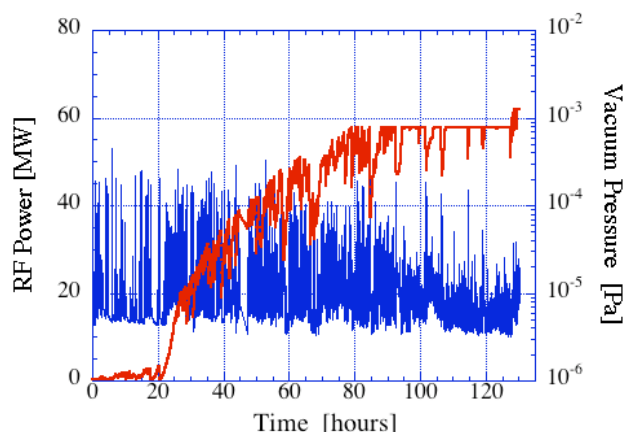


図4 RFコンディショニングの履歴（RF伝送経路：ポート2 $\rightarrow$ 1 $\rightarrow$ ダミーロード）

試験装置全体がコンパクトで全てのイオンポンプが近接していたため大きな圧力差は見られず、ガス放出の箇所が切替器であるのかダミーロードであるのかは、この段階では判断できなかった。また、50MWを超えるとダミーロード入口付近の放射線量が急激に増えたが、コンディショニングが進むにつれて減少している。

次に切替方向をポート1 $\rightarrow$ 2 $\rightarrow$ 3 $\rightarrow$ 4 $\rightarrow$ ダミーロードに切り替えて、ポート3から4に至る切替器内部及びポート2と3をつなぐEバンド部のRFコンディショニングを行った。その結果、図5に示すように突発的なガス放出はほとんどなく、約10時間で58MWに到達した。このときコンディショニングに要した時間は、コンディショニング・プログラムで設定したPFN電圧の昇圧レートできまる所要時間にほぼ等しく、真空悪化によるモジュレータのインタ

ロック発生及び電圧昇圧レートの変化はほとんどなかった。ただし、この伝送経路のときはポート2 $\rightarrow$ 3間にあるイオンポンプ1台からも排気されているので、その効果も考えられる。

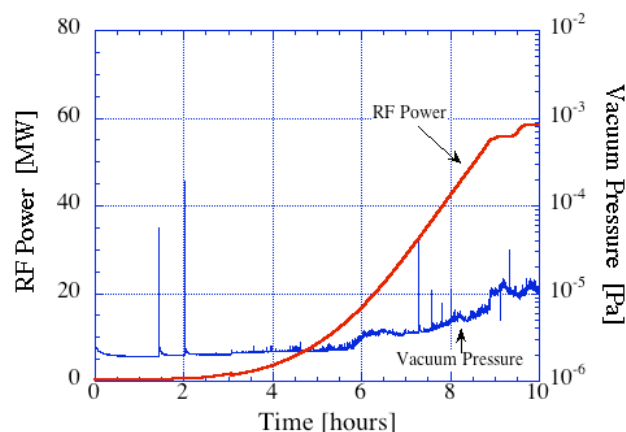


図5 RFコンディショニングの履歴（RF伝送経路：ポート1 $\rightarrow$ 2 $\rightarrow$ 3 $\rightarrow$ 4 $\rightarrow$ ダミーロード）

導波管切替器内の2つのEバンド部は基本的に同じ構造であるのでコンディショニングは同様に進んだと考えられる。したがって、最初のコンディショニングでのガス放出は導波管切替器以外のコンポーネントからのものであることが推測される。ダミーロードからの放射線強度と真空度に相関が見られることから、ダミーロードからのガス放出であると考えられる。

5. まとめと今後の予定

SPRING-8線型加速器のH0モジュレータ・バックアップ・システムに用いる真空導波管切替器の大電力試験を行った。パルス幅 $1\mu\text{s}$ でRFコンディショニングを行い、ピークパワー及び繰り返しは目標値である60MW、 10pps をクリアした。引き続きパルス幅 $2\mu\text{s}$ でのコンディショニングを進める予定である。

さらに今後は本切替器を用いたH0バックアップ・システムの具体的な設計に入るが、図1で示したような改造案の場合、H1によるバックアップ時には第2、第3加速管へのRF供給が止まるので、切替前後における上流部のビーム・エネルギー変化が大きく、若干のオプティクス調整時間がロスタイムとなるかもしれない。これらを踏まえて最適なバックアップ・システムを構築しなければならない。

参考文献

- [1] S. Suzuki, et al., "IMPROVEMENT OF SPRING-8 LINAC TOWARDS TOP-UP OPERATION", Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tosu, Jul. 20-22, 2005.