

# HIGH POWER WAVEGUIDE SWITCHING SYSTEM FOR SPring-8 LINAC

Tsutomu Taniuchi<sup>1,A)</sup>, Takao Asaka<sup>A)</sup>, Hideki Dewa<sup>A)</sup>, Hirofumi Hanaki<sup>A)</sup>, Toshiaki Kobayashi<sup>A)</sup>, Akihiko Mizuno<sup>A)</sup>,  
Shinsuke Suzuki<sup>A)</sup>, Hiromitsu Tomizawa<sup>A)</sup>, Kenichi Yanagida<sup>A)</sup>, Atsushi Miura<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

<sup>B)</sup> Nihon Koshuha Co., Ltd.

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

## Abstract

To realize the high availability and reliability of SPring-8 linac, a vacuum type waveguide switch has been developed to establish a backup system of the first klystron for the electron injector system and the klystron drive line. The waveguide switch was installed between the high power RF circuits for the first and second klystrons in February 2006. After RF conditioning, maximum RF power of 74 MW at peak, 2.5  $\mu$ s in pulse length, and 60 pps in repetition rate were achieved without serious problems for the RF and vacuum characteristics. A switching test of this backup system was carried out, and beam condition was maintained after switching.

## 導波管切替器を用いた大電力RF系バックアップ・システム

### 1. はじめに

SPring-8蓄積リングは2004年5月より、ニュースバルはそれに先立つ2003年6月から蓄積電流を一定に保つためのトップアップ運転を行っており、現在SPring-8線型加速器はそれぞれのリングへ振り分け入射を行っている<sup>[1]</sup>。これにより蓄積電流の変動はSPring-8蓄積リングでは0.1%、ニュースバルでは0.2%以内に抑えられている。

線型加速器ではこのようなトップアップ運転を安定的に維持するために、エネルギー圧縮システム(ECS)によるビームエネルギーの安定化や、各種機器の改良を進めてダウンタイムの低減に取り組んできた。

機器トラブルで最も頻度の高いのはRF源であるため、重度のトラブル時にも短時間でビーム供給を再開できるよう常時2台のクライストロンをスタンバイ運転している。スタンバイ号機についてはクライストロン・モジュレータに入力される10Hzのトリガの内、ビーム加速に同期した1Hzのトリガがマスクされるため、該当の加速管はビーム加速には寄与しない一方、RFコンディショニングは常時行われているので、ビーム加速に使用するクライストロンを入れ替えた直後からコンディショニングを待たずにビーム運転を再開できる。

しかしながら、第1クライストロン(H0)及びECS用クライストロンについてはRFの供給先が特殊なためスタンバイ号機との入れ替えができない。特にH0については電子入射部及びクライストロン・ドライバラインへRFを供給しているため、重故障時には長時間のビーム停止を余儀なくされる。そこで、短時間で復旧できないようなH0系重故障時に第2クライストロン(H1)から出力されるRFをH0系へ伝送するた

め、導波管切替器を用いたH0バックアップ・システムを構築した。

### 2. 大電力RF源バックアップ・システム

図1は本バックアップ・システム設置前後の電子入射部及び第2クライストロンの大電力RF系統である。

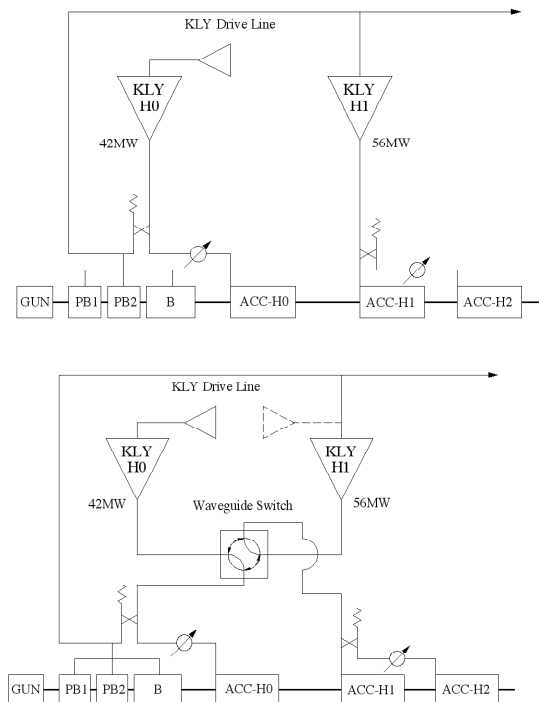


図1：電子入射部の大電力RF系統（上：旧システム、下：新バックアップ・システム）

<sup>1</sup> E-mail: ihcuinat@spring8.or.jp

H0クライストロンまたはモジュレータの重故障時には導波管切替器を回転させてH0とH1を切り替えるとともに励振用RFアンプをH1に接続することによって、H1クライストロンから出力されるRF電力をH0系へ供給することが可能となる。また、本システムにおいては、H0あるいはH1とその他のクライストロンから出力されるRFの位相関係が切替前後で変わらないので、切替後の位相調整が不要である点もビーム供給再開までの時間短縮に寄与すると考えられる。

表1に本バックアップ・システムで使用される導波管切替器に要求されるRF電力仕様を示す。通常値はビーム加速エネルギー1GeVで蓄積リング及びニュースバル入射運転に必要な値で、最大値は1.2GeVの線型加速器単独運転時に必要とされる値である。

表1：導波管切替器に要求されるRF電力仕様

|         | 通常          | 最大          |
|---------|-------------|-------------|
| ピーク電力   | 60MW        | 80 MW       |
| パルス幅    | 2.5 $\mu$ s | 2.5 $\mu$ s |
| 繰り返し周波数 | 10 pps      | 60 pps      |

### 3. 真空導波管切替器

本バックアップ・システムで使用されている導波管切替器は日本高周波（株）の製品である10MW仕様真空導波管切替器製品により高いピーク及び平均電力に耐えうるようローターの接合方法、表面処理、冷却機構等に改良を施すとともに遠隔操作のための駆動機構を追加したもので、昨年5月に実施された大電力試験<sup>[2]</sup>では、ピークパワー62MW、パルス幅1 $\mu$ s、繰り返し10ppsまでの性能が確認された。その後の大電力試験によりパルス幅2 $\mu$ sでも問題なく動作することが確認され、線型加速器の通常運転で必要とされる仕様をほぼ満たすことができたので、実機への設置が進められた。



図2：導波管切替器ローター部（左：拡散接合前、右：電解研磨前）

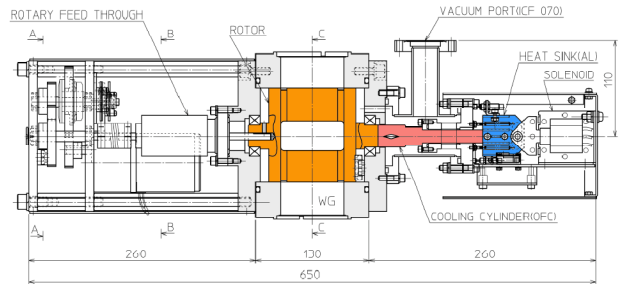


図3：導波管切替器構成図

### 4. 設置とRFコンディショニング

線型加速器本体への設置工事は本年2月の長期停止期間に実施された。導波管切替器はH0及びH1クライストロンの中間部に設置され、導波管の延長及び真空排気系の追加が行われた。切替器内部はH0側、H1側導波管からそれぞれ排気速度45L/sのスパッタイオンポンプ(SIP)で真空排気されると共に、切替器下部から30L/sのSIPでチョーク部及び冷却機構部が排気されている。30L/sのSIPフランジには直径5mmの穴が多数開けられた銅ガスカートが取り付けられており、チョークから漏洩してくる高調波を遮断してSIP内の放電を防止している。

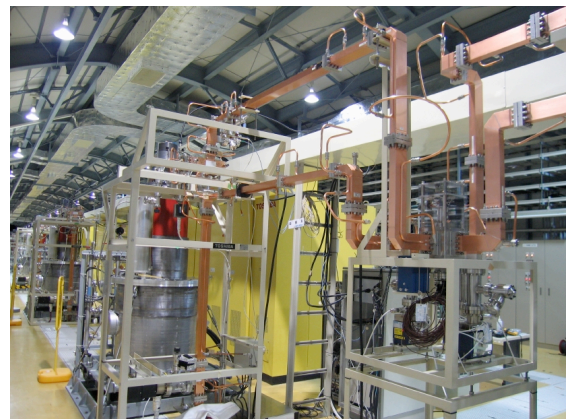


図4：線型加速器大電力RF系に設置された導波管切替器とH1クライストロン

設置工事完了後、 $10^{-6}$ Pa台まで真空排気を行ってRFコンディショニングを開始した。コンディショニングはパルス幅2.5 $\mu$ s、繰り返し周波数60ppsにて日中のみ、計7日間行われた。コンディショニング開始後約24時間でH0クライストロン出力は50MWに到達し、他のクライストロンの励振パワーが定格に達した。その後、32時間のRFコンディショニングでH1クライストロンの出力は最大74MWに到達した。また、このとき導波管切替器のヒートシンク部の表面温度は42 $^{\circ}$ Cであった。

コンディショニング終了後、繰り返し周波数が通

常運転の10ppsに設定されると切替器付近の圧力は下がり、ビーム運転に支障のない程度に十分安定化した。

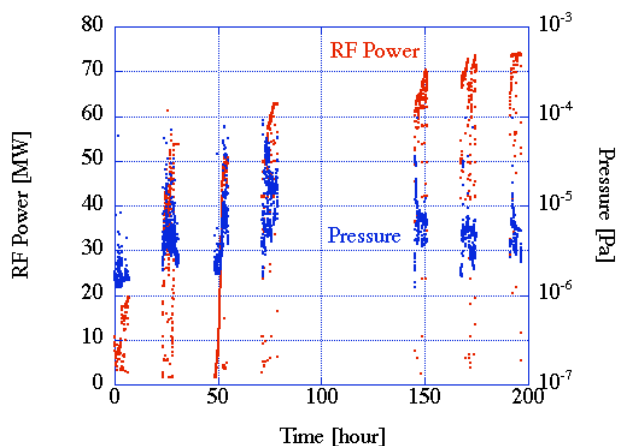


図5：RFコンディショニング（パルス幅 $2.5\mu\text{s}$ 、繰り返し $60\text{pps}$ ）時のH1クライストロン出力と導波管切替器内圧力。コンディショニングは昼間のみ計7日間行われた。

## 5. H0/H1クライストロン切替試験

H0バックアップ・システム設置後約4ヶ月間、通常入射運転を行った時点で、H0系トラブルを想定したH1クライストロンへの切替試験を行った。H0モジュレータ停止後、導波管切替器回転、インタロック切り替え、励振用RFアンプの接続、H1出力調整等の後ビーム加速を行った結果、切替前（H0使用時）のビーム位置及びブースター・シンクロトロンでのビーム電流が再現されることが確認された。図6にBPMにより計測されたH0/H1切替前後の水平ビーム位置を示す。

一連の作業に所要した時間は約2時間であったが、実質的な作業時間は1時間程度であった。さらにケーブル切り替え等を遠隔制御できるよう機器を整備することでこの時間は大幅に短縮できると考えられる。

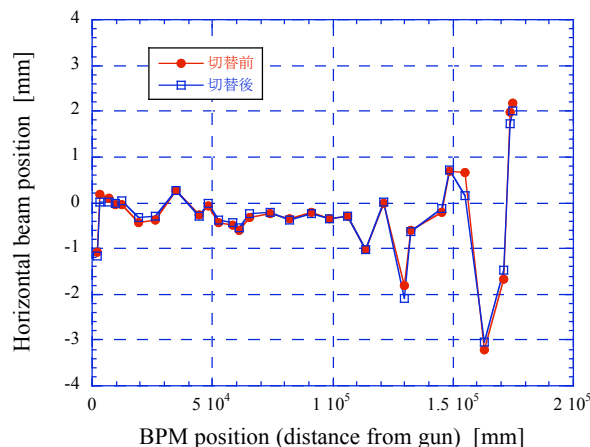


図6：H0/H1クライストロン切替試験前後のビーム位置。

## 6. まとめ

SPring-8線型加速器の高信頼化、高可用化を目的として、電子入射部及びクライストロン励振系のRF源であるH0クライストロンの重故障時にH1クライストロンによるバックアップを行うため真空導波管切替器を開発し線型加速器本体に設置した。

パルス幅 $2.5\mu\text{s}$ 、繰り返し $60\text{pps}$ でのRFコンディショニングの結果、導波管切替器での最大透過電力は $74\text{MW}$ に到達した。また、ビーム運転期間にH0/H1切替試験を行い、切替前のビーム条件が再現されることが確認された。

今後さらなる線型加速器の信頼性及び可用性の向上のため、バックアップ用電子銃の導入やクライストロン入れ替えに伴うビーム軌道調整自動化の検討などを進めている。

## 参考文献

- [1] H. Hanaki, et al., "Enhancements of Machine Reliability and Beam Quality in SPring-8 Linac for Top-up Injection into Two Storage Rings", PAC'05, Knoxville, p. 3585.
- [2] T. Taniuchi, et al., "High Power Test of S-band Waveguide Switch", 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) pp. 299-301.