

## STATUS OF THE SPring-8 LINAC

S. Suzuki, T. Asaka, H. Dewa, T. Kobayashi, T. Magome, A. Mizuno,  
T. Taniuchi, H. Tomizawa, K. Yanagida and H. Hanaki  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/Spring-8)  
Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

### Abstract

In FY2008, the total operation time of SPring-8 injector linac was 5150 hours. The total downtime was 0.21% (The frequency of fault was 0.33 times per day) and as the stable as the last few years. In the first cycle, the electron gun modulator broke down due to an electric discharge in the PFN condenser. And the gun cathode heater power supply and grid bias power supply broke down in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> cycle. A twin electron gun system was constructed to eliminate long-time interruption of the beam injections caused by electron gun's accidents. The thyatron stands were replaced with new ones which were designed to enhance their maintainability and reliability. These improvements have finally reduced the total fault rate of the modulators to 0.06 events per day.

## SPring-8 線型加速器の現状

### 1. はじめに

SPring-8線型加速器の運転開始 (H8.8.8) より13年が経過しようとしている。昨年度の前半は電子銃及びブースタークライストロンのトラブルがあり、合わせると30時間近いダウンタイムとなったが、後半は非常に安定した運転を行うことが出来た。

2004年5月からは蓄積リングのTop-up運転が、2004年9月には、SPring-8とNewSUBARUの両方同時のTop-up運転が始まり、現在も継続されている。

Top-up運転のビーム入射間隔は、2007年の11月よりインターバル優先モードから電流値優先モードへの移行を行い、約20秒～5分に1回となっている。このときの蓄積リングの蓄積電流の安定度は0.1%から0.03%となった。NewSUBARUでは蓄積電流によるが6, 7秒に一度の入射を行っている。そのときのビームエネルギーの安定度は、0.01%であった<sup>[1]</sup>。NewSUBARUでの1.5 GeV運転は現在夜間のみ行われており、必要に応じて1日1, 2回の入射を行っている<sup>[1]</sup>。

このように頻繁に入射を行うTop-up運転中は、機器のフォールトやビーム調整によるビーム入射の中断を最小限にせねばならず、その入射器である線型加速器には高度の安定度と信頼性が求められる。SPring-8線型加速器では、1998年よりビーム安定化のための改良およびフィードバック制御導入を進めてきており、2004年度末までにほぼその作業を終えた。また、信頼性向上についても、変調器をはじめ、各機器の改良を続けており、スタンバイ変調器、ブースター切り替え装置等に加え、電子銃の二重化を行い、かなりのトラブルに早急な対応が出来るようになった。

今のところ、電子銃が二重化されているのみで、従来の電子銃にトラブルが発生したときに、電源、

グリッドパルサーなどをつなぎ変えるシステムであるが、この夏に電源や高圧ステージを準備し、年度末には制御系も準備され、トラブル時の即時の切り替えが可能となる予定である。

### 2. 運転状況

シンクロトロンとNewSUBARUに入射するビームの種類を表1に示す。両蓄積リング同時トップアップ運転の際、入射経路切換における加速器パラメータの変更を最小限にするため、トップアップ入射専用の共通1 nsビームを用意している。ただしNewSUBARU入射時は、入射路途中のスリットでビーム電流を約1/3に削減する。

表1：線型加速器のビームパラメータ (ECS動作)

	Synchrotron		Top-up
Pulse Width	1 ns	40 ns	1 ns
Repetition	1 pps	1 pps	1 pps
Pulse Charge	1.7 nC	2.8 nC	0.66 nC
dE/E (FWHM)	0.45%	0.55%	0.32%
Energy Stability (rms)	0.02%		0.01%

2008年における線型加速器総運転時間は、約5150時間であった。図1に2008年度のサイクル毎のインターロックフォールト統計を示す。左のグラフは1日あたりの回数で、全てのサイクルに於いて1日1回以下となっている。フォールトの原因はクライストロンモジュレータによるものと電子銃関係のものが主である。クライストロンモジュレータについては13台のモジュレータで3日に1回程度まで下がっている。2008年夏にサイラトロンスタンドの更新を行ったおかげでサイラトロンスタンドとモジュレータ本体間との放電がなくなったため、その放電が誘

発していたフォールトは更に減少傾向である。

右のグラフがTop-up運転の中断時間の比率であるが、前半のサイクルでは電子銃用高圧デッキ内での、回路トラブルや電子銃モジュレータPFNコンデンサーのパンク及びサイラトロン交換などが重なり、多大な修理時間を要した。そのため、例年の2、3倍のダウンタイムとなっている。後半の第3サイクル以降では、中断時間がかなり減少している。この状況は現在も継続しており、クライストロンモジュレータの改良の効果が現れた結果と言える。

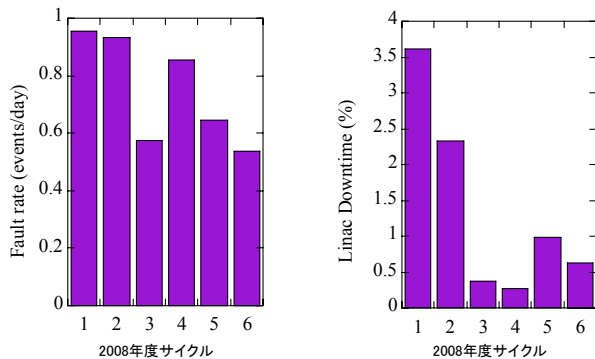


図1：インターロックフォールトのサイクル別頻度

### 3. 電子銃

#### 3.1 第2電子銃運転

2007年夏に第2電子銃のインストールを行い、種々のトラブルで遅れたものの2008年5月にエミッションの確認を行った。その後、第2電子銃からのビームのシンクロトンへのビーム輸送も問題なくできることも確認できた[2]。

2008年10月に第1電子銃付近での真空悪化が多発したため、10月28日のマシンスタディ期間中に第2電子銃への切替を行い、11月、12月の運転は第2電子銃を用いて行った。予め、ローカルでヒーター予熱を行っていたため、切替に要した時間は約3時間であった。

現在は電子銃本体をインストールしただけであり、トラブル時は現有電子銃電源及び高圧デッキを切り替えて使っているが、今年度末には専用の電源や高圧デッキを設置完了することにより、完全な二重化を行う予定である。

#### 3.2 電子銃電源のトラブル

2008年の第1サイクルには、電子銃モジュレータのサイラトロンの寿命によりミスファイヤーが頻発したため、サイラトロンの交換を行った。また、ほとんど同時期に電子銃電源のPFNコンデンサーがパンクし、油漏れが発生したため、予備コンデンサーとの交換を行った。両トラブルとも3時間程度のTop-up運転の中断となったが、この間に蓄積電流が6%ほど減少した。また、2008年の第1、2サイクルに電子銃グリッドバイアス電源のトラブルが数回

あったため、夏期停止期間に制御用モジュールの入っていたNIMBIN電源を交換したところ、全く動作しなくなった。回路の再チェックを行ったところ、フロートであるべきアースラインがつながっていることが判明したため、アイソレーションアンプにて絶縁したが、以前の状態でなぜ正常に駆動していたか、不明であり、以前の状態にも再現できなかった。

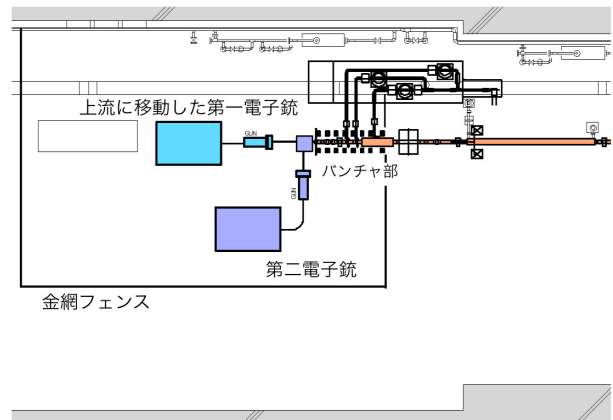


図2：第2電子銃の配置

### 4. クライストロンモジュレータの改良

SPring-8では線型加速器のトラブルのうちほとんどの要因がクライストロンモジュレータに起因するものである。そのため、建設当初からずっとモジュレータの改良に取り組んできた。昨年度はサイラトロンスタンドの改良に取り組んだ。従来のスタンドではサイラトロンスタンドとアースライン間で距離が長く、接触面積が小さいなどの問題点のために、放電痕などが見られられ、それがフォールトを誘発していたと思われる。その部分に注意し、さらにメンテナンス性を向上させるような再設計を行った。

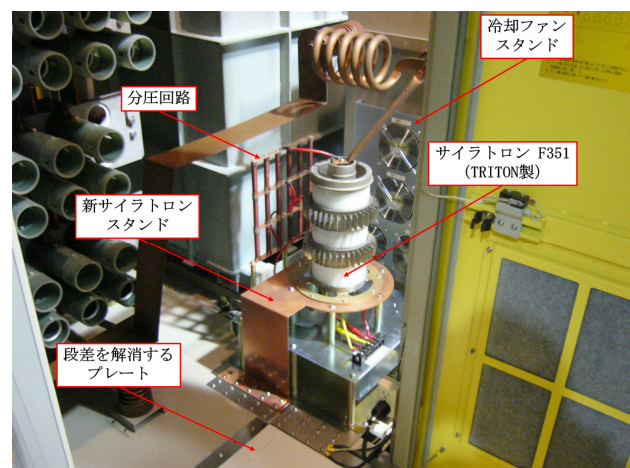


図3 新サイラトロンスタンドの外観写真

分圧回路はサイラトロン本体を囲む形で配置されていたチムニ型から、サイラトロン側方に配置するオープン型に変更し、サイラトロン本体の脱着を簡単に行えるようにした。また旧型ではスタンドに内

蔵され下から送風していた冷却ファンは、外部ユニットに変更し、長寿命冷却ファン4台を用いてスタンド側面から冷却するようにした。これにより、サイラトロンヒータ部、コントロールグリッド部、コレクタ部が冷却されるようになり、安定度が向上すると思われる。これらの改造により、サイラトロンの交換に30分程度要していたのが10分程度に時間短縮を計ることができた<sup>[3][4]</sup>。

## 5. 制御系の改造

建設時はクライストロンモジュレータと上位計算機とのリモート制御はPLCとVMEとの間で個別のAI/O,DI/Oで取り合っていた。2000年にVMEとの通信をRS-232Cで取り合うようにし、その後VMEと直接ではなくHPのワークステーションとシリアル通信を行いイーサネット経由で上位計算機に取り込むようになった。HPのワークステーションはすでに老朽化し、ハードディスク内蔵で動作に不安があったため、ディスクレスの小型Linuxマシン(アルマジロ:(株)アットマークテクノ社製)に置き換えることとした。2008年夏より1台のクライストロンモジュレータにて試験運転を行い、問題がないことを確認した上で冬に全モジュレータへの導入を行った。図4が置き換えられたアルマジロである<sup>[5]</sup>。

また、ステッピングモーターのコントロールはMCU(Moter Controle Unit:日立造船社製)を用いて、イーサネット経由で行っているが、2008年夏季停止期間まではソフトウェア上のネットワーク接続ポートが埋まってしまい通信ができなくなるトラブルが週に1, 2回発生していた。その対策として、タイムアウトでポートを空ける、MCU動作の高速化及び通信ポートを増やすといった対策を行ったところ、通信以上のトラブルは発生しなくなった。

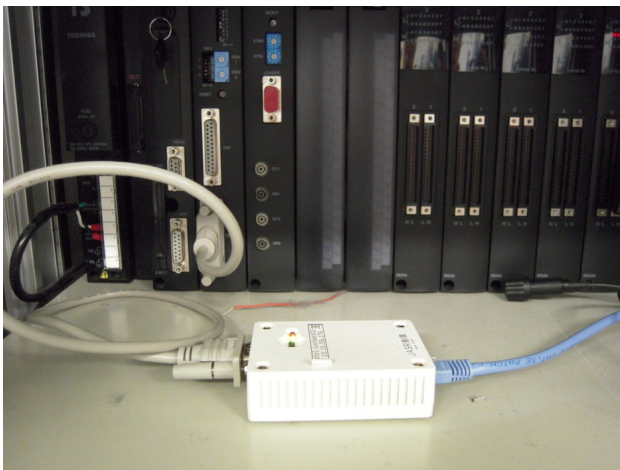


図3 アルマジロ外観

## 6. トリガー監視システムの増強

トリガー伝送系のモジュールの不具合によるビーム停止もしばしば発生している。一定のモジュールで不具合

が発生しているわけではないので、その不具合箇所の発見対策というのは即座に行えるものではないが、トラブル発生時にどこか故障かを調査しやすいようにするために診断装置を導入するのは、ビーム停止時間をできるだけ少なくするためには重要な対策である。その診断用としてトリガーのモニターを行うようにした。トリガーの数を数えるカウンター及び時間差を測定するTDCの信号をデータベースに取り込むようにした。カウンターにはFPGAを用いた自作モジュール6台(1ch/台)を用いて、どこでトリガーが消失したかの判断ができるようにした。TDCにはCAEN社製V1290V(分解能25ps, 21bit, 全幅52 $\mu$ s, スタート共通15ch)2台を使用し、デレイ時間のジャンプ、ドリフトなどを測定できるようになった。TDCではスタートタイミングの異なる7chと4chのデータを取り込んでいる。

## 7. 今後の予定

来年の夏に安全系インターロックの大幅改造が予定されている。線型加速器のビーム出力は現在1.2GeV、6 $\mu$ Aで許可を受けているが、これは陽電子発生を前提とした出力であり、この出力のためにシンクロトロンとの壁が薄いためインターロック上、線型加速器とシンクロトロン室を分離することができない。このことが安全系インターロックを組む際の障害となっている。これを、入射には十分な1/40の出力に落とし、線型加速器運転中にシンクロトロントンネルに入室できる1/40のビーム出力に落とす申請を行った。これにより現在シンクロトロントンネルと線型加速器加速管室の間の2m遮蔽壁で安全が担保されるため、来年夏のインターロック改修後には加速器本体室に入室を伴うようなトラブル時の対応が早くなると想定される。

また、クライストロンモジュレータの制御に用いているPLCを現在の東芝製より横河製のものに更新する準備を行っている。これにより、現在アルマジロを経由する上位との通信を直接イーサネット経由で行うことになる。

## 参考文献

- [1] 高雄勝, その他, “SPRING-8蓄積リングの現状”, 本学会論文集.
- [2] 小林利明, その他, “電子銃の2重化”, 2008第5回加速器学会.
- [3] 平山, その他, “SPRING-8線型加速器サイラトロンスタンドの改良”, 本学会論文集..
- [4] 小林利明, その他, “SPRING-8線型加速器モジュレータの改造”, 本学会論文集
- [5] 松本 崇博, その他, “SPRING-8加速器制御系における小型組み込み機器のRS-232C制御への適用”, 本学会論文集.