

## IMPROVEMENT OF THYRATRON STAND AT THE SPring-8 LINAC

Hideyuki Hirayama<sup>1,A)</sup>, Hiroshi Takeuchi<sup>A)</sup>, Takamitsu Katsube<sup>A)</sup>, Toshiaki Kobayashi<sup>B)</sup>, Hirofumi Hanaki<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8 Service Co., Ltd. (SES)

2-23-1 Koto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205, Japan

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

1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

### Abstract

Klystron modulators for the SPring-8 1-GeV linac have been improved to enhance their reliability for the stable top-up injection. We have investigated the modulator's faults and found that a fraction of them was not actual fault but error. The error faults were mainly caused by deteriorated meter relays or induced by accidental discharges in the modulator housings. The discharges occurred between thyatron stands and the modulator housings because grounding of the thyatron stands was incomplete. The following measures have been taken to reduce the error faults: The meter relay units were replaced with improved ones. The grounding of the stands was significantly improved and 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線型加速器サイラトロンスタンドの改良

### 1. はじめに

SPring-8では、2004年5月より蓄積リング（以降SR）へトップアップ入射が開始され、同年9月からはNewSUBARUとの随時振り分けトップアップ入射によるユーザー利用が行われている。当初、SRへ定時入射（セベラルバンチで1分、マルチバンチで5分）を行っていたが、SR蓄積電流値変動を改善するため、2007年11月より随時入射（セベラルバンチで20~40秒、マルチバンチで2~3分）へ変更した。これにより、蓄積電流値100mAを一定に保つため、蓄積電流値変動を0.03%以内に抑えた運転を行っている。

線型加速器では、SR蓄積電流値を一定に保つため、機器異常によるトップアップ入射中断を最小限にすることが要求されている。しかし、線型加速器のクライストロン変調器電源（以降、変調器）の停止（以降、fault）には、誤動作と思われる事象が多く含まれていた。変調器の信頼性を向上させるため、メーターリレーおよびサイラトロンスタンド（以降、スタンド）の新型への交換、アースラインの改善により、それらの誤動作を大幅に減らすことができた。

本稿では、変調器のfault原因、ならびに改良の1つである新スタンドについて報告する。

### 2. クライストロン変調器のfault原因

現在の変調器運転パラメータを表1に示す。トップアップ入射では、変調器11台をビーム加速に使用し、残り2台は待機運転状態でエージングしている。

表1：変調器運転時のパラメータ

変調器	13台	
クライストロン型式	E3712 (東芝電子管デバイス製)	
方式	共振充電	
充電電圧	50kV:80MW (定格時)	45kV:60MW (通常時)
パルストランス昇圧比	1 : 16	
繰り返し周波数	10pps(最大60pps)	
パルス幅 (高電圧)	4μs (F.T)	7μs (F.W)
RFパルス幅	2.6μs	
サイラトロン型式	F351:6台 (Triton製)	L-4888C:7台 (Litton製)

変調器のfaultには、ノイズや放電などの誤動作を含んだものが多く、利用運転中において頻りにトップアップ入射は中断された。入射中断となる主要なfaultは、高圧電流過大 (I HV) およびクライストロンビーム電流過大 (I pulse) であった。このfaultには、すぐに原因を特定できないものがあり調査を行った。2004年5月以降、誤動作を含む全ての変調器（待機運転の変調器は除く）のfault発生率[event/day]を図1に示す。また、図1よりI pulseのfaultを原因別に分類したサイクル毎のfault総数[count]を図2に示す。

以下、原因特定するための調査と機器改良について説明する。

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

## 2.1 メーターリレーユニット交換

高圧電流過大の原因は、メーターリレー8個を収納しているユニット内の放熱が悪く、メーターリレーの誤動作および故障によるものであることが判明した。このため、全ての変調器において改良したメーターリレーユニットに交換<sup>[1]</sup> (図1①)した。交換前の2005年第5サイクルまではfaultが3.78回/1日発生していたが、交換以降は0.64回/1日以下と大幅に減少した。

## 2.2 クライストロン管内真空計測

I pulseの原因は、本来はクライストロン管内放電などによる電流過大である。この場合、クライストロン管内真空の悪化が推測されるが、目安となるクライストロンイオンポンプ電流値を常時監視していなかった。イオンポンプ電流値が2 $\mu$ A以上になるとクライストロン管内真空悪化 (KLY IP VAC) のfaultが発生する。これにより、管内放電が発生していると推測できるが、イオンポンプ電流値が2 $\mu$ A以下であれば、KLY IP VACのfaultは発生しない。このため、管内放電と判断されずに変調器の高圧印加をすぐに行いfaultを再発させていた。これを防ぐため、クライストロンのイオンポンプ電流値をdatabaseへ取り込み、2006年第4サイクルより常時計測<sup>[2]</sup>を開始した (図2②)。

図3は、I pulseが発生した時に観測されたクライストロンイオンポンプ電流値の変化である。この時、クライストロン管内放電が発生し瞬時に真空が悪化したとクライストロンイオンポンプ電流値より推測される。また、KLY IP VACによるfaultが発生しない時でもクライストロンイオンポンプ電流値に変化があれば管内放電が発生していると推測できる。

## 2.3 新スタンド製作

I pulseによるfault時にクライストロンイオンポンプ電流値が変化しない場合もある。I pulseのfaultのうち、クライストロン管内真空悪化が観測された事例とそうでない事例を分類したのが図2である。スタンドと変調器筐体間で放電痕が確認されていることから、I pulseのfaultは放電による誤動作ではないかと推測される。2008年第6サイクル以降、以上の原因による誤動作を無くすために全ての変調器に対してアース強化および新スタンドを製作して導入した (図2③)。

今のところ、誤動作と推測される事例は観測されていない。図2のfault総数が少ないこともあり、アース強化の効果として期待するにはもう暫く様子を見る必要がある。

これまでの各機器の改良により、2009年第3サイクルではfault発生率が0.06回/1日まで低減された。

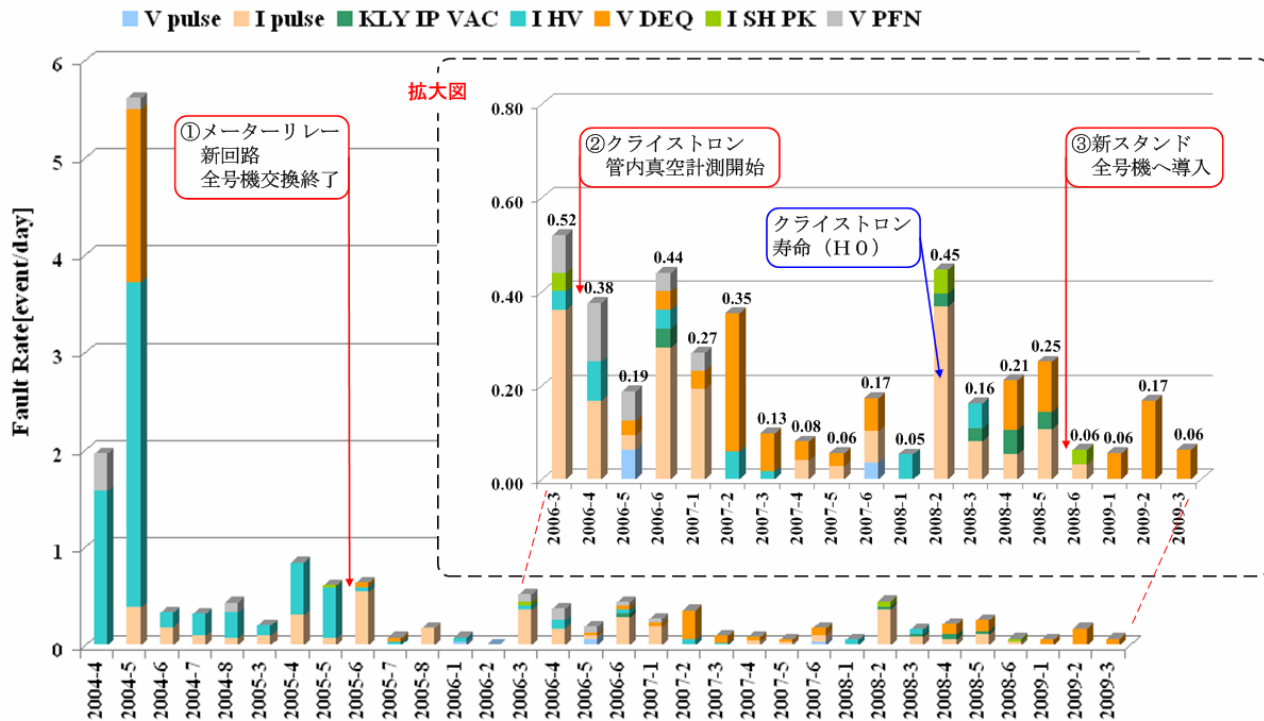


図1：サイクル別 全変調器のfault発生率 (利用運転時)、図中の信号名称の意味はそれぞれ以下の通りである。

V pulse：クライストロンビーム電圧過大、I pulse：クライストロンビーム電流過大、KLY IP VAC：クライストロン管内真空悪化、IHV：高圧電流過大、V DEQ：de-Q回路電圧過大、I SH PK：シャント電流 (ピーク値) 過大、V PFN：PFN充電電圧過大

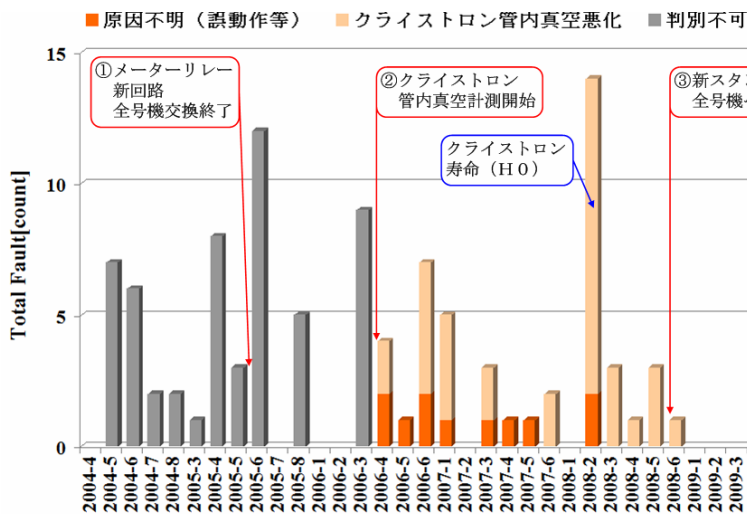


図2：サイクル別 I pulseに限定した全変調器のfault総数 (利用運転時)

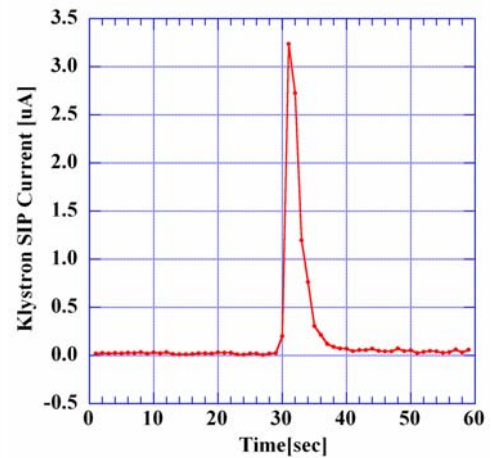


図3：I pulse fault時のクライストロンイオンポンプ電流値変化

### 3. スタンドの製作

#### 3.1 スタンドのアース強化

前節で述べたようにスタンドと変調器筐体間の接触面で放電が発生し、誤ったfaultを誘発していると推測された。スタンドは、変調器筐体チャンネルの上に載せて締結をしているが、構造上接触しないチャンネル角部等に生じた電界で放電が発生していた。スタンドを取り外した際、接触面の放電痕が確認されている。旧スタンドの外観写真を図4に示す。

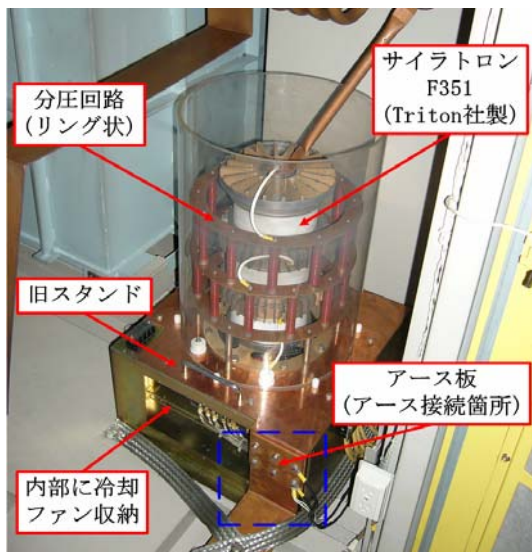


図4：旧スタンド外観写真

スタンドのアースの取り方には下記のような問題があった。

- スタンドとパルストランスを接続しているアースラインが長い

- スタンド下部は変調器筐体チャンネルに接続され不接触部分が多い
- チャンネルの塗料剥離が不十分のためスタンドとの接触を妨げていた

接触面での放電を防ぐため、SS400のニッケルメッキ加工されたアースプレートを変調器筐体チャンネルの上に敷き、その上に新スタンドを載せて接触面積増やした。これにより、最短距離で接地することができた。

#### 3.2 新スタンドの製作

メンテナンス性を考慮した新スタンドの概略図を図5、概観写真を図6に示す。

新スタンドではメンテナンス性を考慮し以下4点について改善した。

- 作業スペースの確保  
変調器筐体底面より浮かせてアース線路が設置されていることから、足を取られてスタンド周辺の作業がしにくい状態であった。新スタンドでは、アース板を撤去して変調器筐体側の段差を解消するためのプレートを敷き、フラットな状態に変更した。
- サイラトロン本体脱着の簡略化  
サイラトロン本体脱着するのに円筒状の分圧回路を取り外す必要があった。新スタンドでは、サイラトロン本体の脱着に支障がない場所へ分圧回路を配置し、サイラトロン本体脱着作業の時間短縮を図った。
- 冷却ファンの外部ユニット化  
冷却ファンはスタンドに内蔵されておりファン交換時にスタンドを分解する必要があった。新スタンドでは、冷却ファンを外部ユニット化し、簡易にファン交換が可能な構造とした。また、冷却ファンに長寿命タイプ (4台) を用いてスタンド側面からサイラトロンヒータ部、コントロールグリッド部、コレクタ部を送風する。



- フィルタ回路部の簡略化  
 フィルタ回路は、LとCのパイ型フィルタでサイラトロンからの逆電圧パルスが制御回路へ戻るのを防止するためのものである。これらは、冷却ファンとあわせてスタンドに内蔵され密集した構造となっていた。新スタンドでは、冷却ファンの外部ユニット化によりスペースが空いたため、回路内部の絶縁距離に配慮した部品配置と容易に回路内部を確認できる構造が可能となった。

2007年3月に1台の変調器へ先行導入<sup>[2]</sup>した新スタンドは、長期間の安定動作が確認された。また、放電が発生していないかを放電痕の有無を目視点検にて確認したが問題はなかった。これにより、2008年8月に残り12台と予備を含めた新スタンドの製作を行った

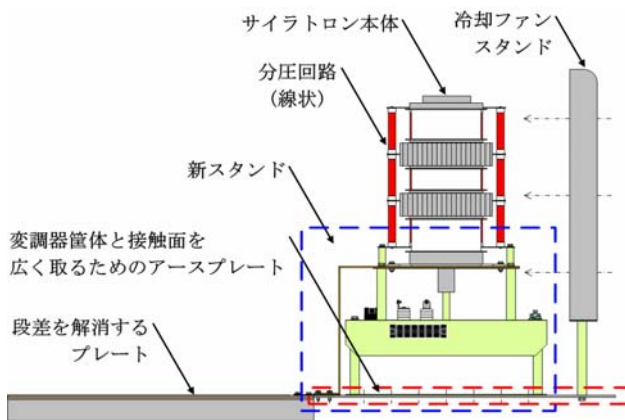


図5：新スタンド概略図（正面図）

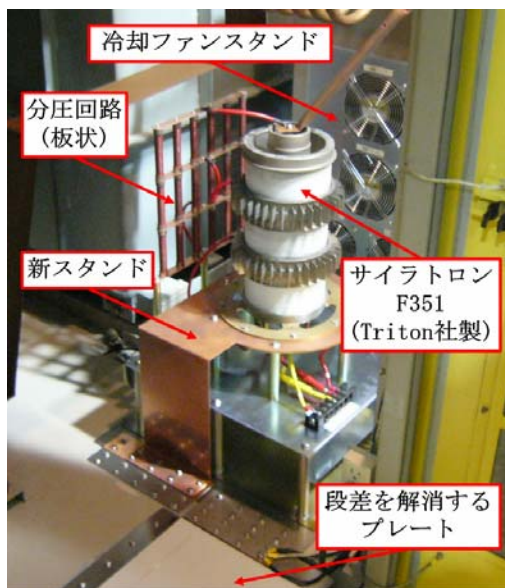


図6：新スタンド外観写真

### 3.3 新スタンドの導入・動作試験

2008年12月に12台の変調器へ新スタンドを導入し、高圧印加（PFN電圧45kV）動作確認を行った。初期の動作試験は、10時間以上の高圧印加を行い、異常な放電音やfaultもなく安定に運転できる事を確認した。また、Trigger信号とVpulse信号波形の時間差を繰返し測定し、その測定値の時間幅（ジッター）を確認した。測定した結果、1～5ns程度とRF出力に影響する値ではなく新しいフィルタ回路の健全性が確認できた。さらに、新スタンドと内部のフィルタ回路で放電痕の有無を目視点検して問題がないことを確認した。

## 4. まとめ

新スタンドと変調器筐体のアース接続を強固なものにして、旧スタンド時に発生していた放電を防ぐことができた。また、メンテナンス性の向上によりサイラトロン本体の交換および冷却ファンの交換が容易に行えるようになった。以前はサイラトロン本体交換に30分程度要していたが新スタンド導入後より10分程度までに短縮できる。これにより利用運転中のサイラトロン交換も即座に行えるため、トップアップ入射中断を最小限に抑えられる。また、新スタンドのフィルタ回路内部は空間のある底面から目視による確認ができるため、点検時において異常箇所の早期発見に繋がる。

最近ではI pulseなどでfaultすることがほとんど無く、faultの原因はde-Q回路電圧過大のみである。今後はde-Q回路電圧過大がなぜ発生するのか、調査を進める予定である。

## 参考文献

- [1] 小林利明, その他, “TOP-UP運転のためのSPring-8線型加速器モジュレータの高安定化”, 第3回日本加速器学会.
- [2] 小林利明, その他, “SPring-8線型加速器における電子銃及びクライストロンモジュレータの改良”, 第4回日本加速器学会.