

IMPROVEMENT OF GUN AND KLYSTRON MODULATOR OF SPring-8 LINAC

T. Kobayashi¹, T. Asaka, A. Mizuno, H. Dewa, S. Suzuki, T. Magome, T. Taniuchi, K. Yanagida, H. Hanaki
JASRI/SPring-8

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

Abstract

The cathode emission currents in the gun of the SPring-8 linac have been sometimes insufficient, or uncontrolled accidental emissions have been rarely observed. We have suspected that the inadequate cathode temperature may have caused these cathode failures. To investigate these cathode failures, we have constructed a measuring system of the cathode temperatures and the cathode emission currents at the test stand. Diligent maintenance and improvement of the gun and klystron modulators have reduced each failure rate down to less than 10 events per year. However, we still have the following failures with the thyatron circuits: The thyatron heater and reserver power supplies sometimes present voltage instabilities due to the poor contact in their aged voltage sliders. The thyatron trigger drivers have been affected by the line voltage fluctuations to result in timing shifts of the output pulses. The thyatron (L-4888C) heater leads often deteriorate due to an unknown reason. These issues are under investigation.

SPring-8線型加速器電子銃及びクライストロンモジュレータの改善

1. はじめに

SPring-8線型加速器の電子銃及びクライストロンモジュレータのインターロックによるfaultは、線型加速器の電子ビームが停止するため、SPring-8蓄積リングと兵庫県立大のニュースバルリングへのtop-up運転のビーム入射中断が起こり、蓄積電流の変動値が大きくなる。そこで我々はモジュレータの構成機器のfault原因を追求して、2つの蓄積リングへのtop-up運転の中断を無くすべく改良を行ってきた。

電子銃モジュレータを含む電子銃2重化^[1, 2]及び大幅なモジュレータの改良を行い、fault回数は大

幅に減少してきている。そしてモジュレータ本体の安定度である、PFN電圧の長期安定度は0.023%(1 σ)/24hourまで安定化できている。

更なる安定度を目指して構成機器の動作を調査していると、サイラトロン関係のサイラトロントリガ励振器電源が商用電源変動に連動している事が判明した。またさらにサイラトロンヒータ・リザーバ電源は、安定化トランスで安定化されているはずであるが、サイラトロンヒータ・リザーバ電源の長期間の安定度という点、不規則に変動するもの、高安定な電源などばらばらである事がわかった。それらの調査結果と改良方法について報告する。

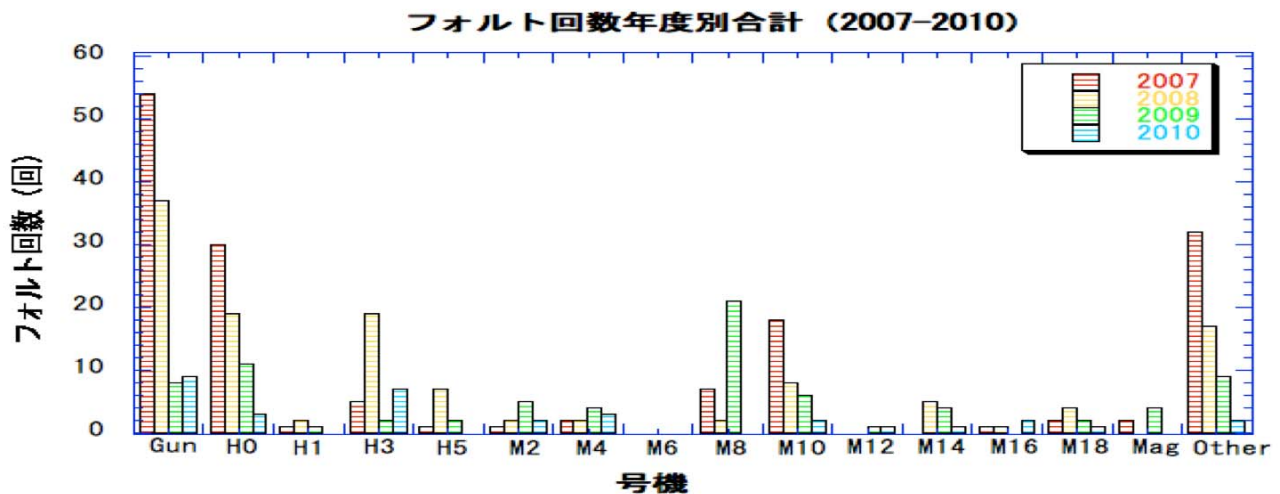


図1: 全モジュレータの年度別fault回数

¹ E-mail: tkoba@spring8.or.jp

図1から見て判るように、線型加速器モジュールのfault回数は激減している。07年の時点での電子銃モジュールはfaultが目立つが、これにはとても安定に動作できるようなものではなく、根本的な原因（インバータ電源部の高圧ケーブルが絶縁破壊を繰り返すなど）があり、簡単な改良、改造等では安定化はできないと判断し、電子銃モジュールを新たに設計、製作した。この新規の電子銃モジュールにより、電子銃のfault回数を1/6程度に押さえる事ができた。現在、電子銃システムは完全に二重化されている。従って、運転中の電子銃に不具合が発生した場合は、常時カソードヒータに通電して待機している電子銃と高圧電源システム一式に、短時間で切り替える事ができる。また加速に使用している13台のクライストロンモジュール関係では、サイクロンスタンド、モジュール用パネルメータ及びfan-out回路などを新規に開発したものと全数取り替えなどを行っている。そして現在のモジュールのfault回数はかなり少なくなり、安定したモジュールになってきている。モジュールのfault回数には号機によりばらつきもあるが、平均して1/3程度減少している。現在はfault原因が目立ってきているのは加速管や導波管及びクライストロンの真空悪化などである。

2. 電子銃カソード温度計測

電子銃カソードの温度は計測できていなかった。そこでマシン実験棟電子銃テストスタンドを改造し、カソード温度を放射温度計で計測した^[3]。電子銃テストスタンドで放射温度計を用いて測定すると、ヒータ定格電力8Wで、カソード表面温度は813度と計測された。実機では、beam deflectorを導入した時にビーム調整用としてdeflector chamberの直後に設置したデマルケストモニタを固定に用いた金属フレームをミラーとして、電子銃の温度を放射温度計で測定した。ミラーの吸収等により、テストスタンドでのミラーなしでの測定値813度（カソードヒータ電力は同じ）に比べると低くなると考えていたが、実測値は約400度とかなり低い温度測定結果となった。スクリーンモニタの金属フレームからの反射光を計測しているため、測定する面積が足りないために正確に計測できていない可能性がある。この夏の停止時に、カソード温度測定用の金属ミラーをdeflector chamberのデマルケストモニタ部に設置する予定である。

3. 電子銃簡易試験装置

電子銃カソード試験を最大70kVの高電圧を電子銃に印加し、エミッション試験を行う予定であったが、この試験装置の電力供給用高圧絶縁トランス部の故障が生じて試験できない状態になっている。メーカーに修理、または新品を購入するか検討中である。そこで図2のように非常に小型の真空チャンバーに入った電子銃試験装置の設計を開始した。簡単な装

置であるが、グリッドパルサで引き出されたエミッションをファラデーカップで捕らえて、その信号を真空封し型同軸コネクタより、信号として取り出す。電子銃試験装置は、電子銃カソードアッセンブリと装着するICF70フランジ、真空ポート用ICF70フランジ及び放射温度計で電子銃カソード表面の温度を計測するためのミニコンフラットフランジを備え、真空チャンバーの内面を覆うように、アースから浮かして、ファラデーカップがある。ファラデーカップで集められた電荷は真空フィードスルーを通してオシロスコープまたは電荷計測器で計測する予定である。また、電子銃カソード表面温度を計測するための覗き窓に電子ビームのチャアーアップ防止のため、窓にメッシュをつける予定である。

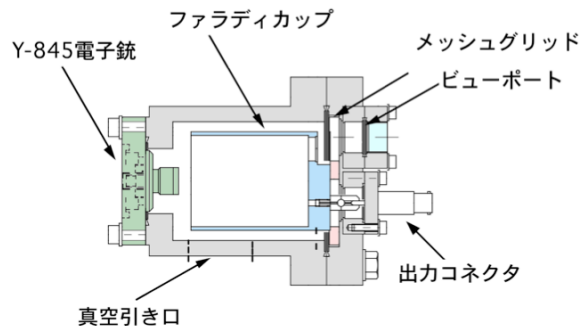


図2: 小型電子銃試験装置

4. 電子銃同軸伝送路の設置確認

電子銃カソード（CPI社 Y-845 カソードアッセンブリ）を装着時に、目視確認ができなくて確実にカソードと同軸伝送路が接続できているかを確認できなく、接続に自信がもてずに困惑することが多々あった。そこで先端から5cmほどのところを直角まで曲げる事ができる、照明付きのファイバースコープを用いて、同軸伝送路先端部とカソードのコネクタの接続部分を監視した。その結果、同軸伝送路を確実に装着できたことが確認された。図3は同軸伝送路とカソード部を接続しているところである。このファイバースコープで鮮明に接続部分が見えるようになった。図4は同軸伝送路の断面図、図5が、その写真である。



図3: スコープで電子銃カソードと同軸伝送路が接続部を確認。グリッド接続のスリ割り部と冷風循環用穴が確認できる。

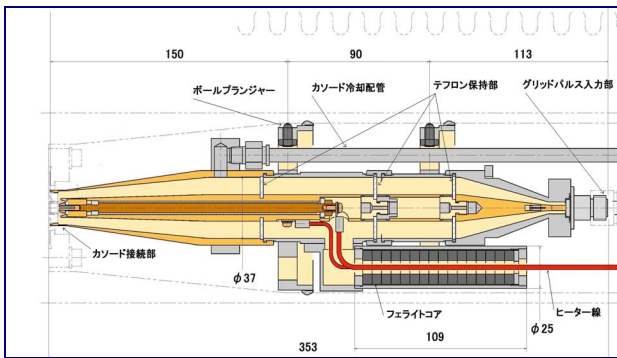


図4：同軸伝送路

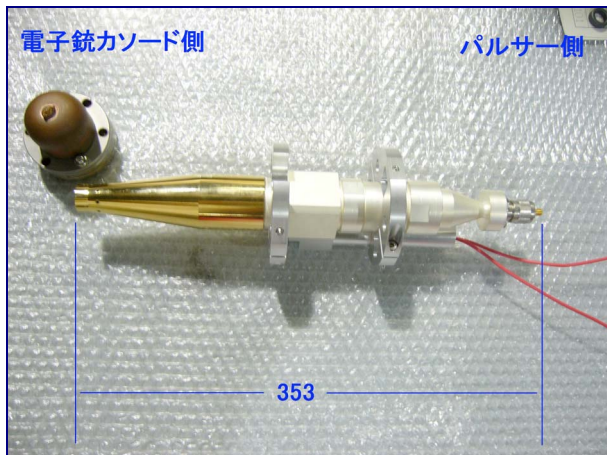


図5：同軸伝送路写真

5. クライストロンモジュレータの安定化

5.1 サイラトロンヒータ・リザーバ電源の安定化

現在のサイラトロンヒータ・リザーバ電源は、スライダックで所定の電圧に調整する装置である。この電源の入力はCVTトランスで安定化されているが、スライダックの2次側の電源モニターでは、電圧、電流の変動が観測されている。この変動は比較的大きく、急激な変化を生じる時があるが、その時のおもとの電源電圧の変動には問題になるような変動は起こっていない。したがってスライダック部の接触などが考えられ、これらのスライダックの可変接触部分の清掃を13台すべての号機について行ったが、著しい改善は見られなかった。そこで原因は特定できていないが、ヒータ・リザーバ電源の交流制御をやめて、市販の直流スイッチング電源（PS10-35, PS10-105: 菊水電子製）に置き換える試験を行う計画をしている。

5.2 サイラトロン用トリガ励振器の安定化

商用の電源変動とともにトリガ励振器のトリガタイミングがシフトする事象が以前から観測されていた。全号機のサイラトロンのトリガと商用電源との相関を調べると、ほぼ全ての号機で図6のように負

の相関があった。図面で調査すると、このトリガ励振器の交流電源部が安定化されていない事が判った。この夏の停止時にはサイリスタ制御の交流安定化電源を1台仮設置し、安定化試験を開始する予定である。

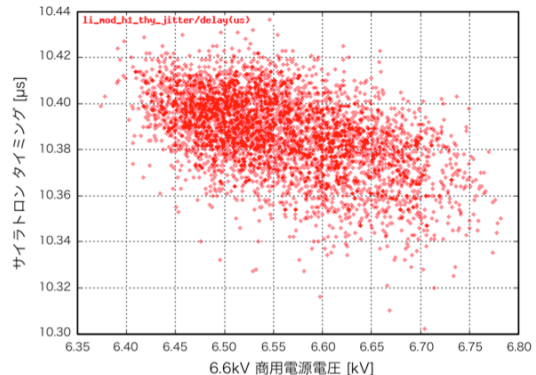


図6：6.6kV商用電源電圧 vs サイラトロン点弧時間

5.3 サイラトロンヒータ線の劣化調査

サイラトロン本体（L-4888C）のヒータ線が図7のように、劣化してケーブル被覆の剥離するものが多く、またこの事象を見逃して運転を行ったものでは、ケーブル断線により筐体にケーブルが落下した事もあった。そこで劣化するケーブルの温度をサーモラベル、熱電対、放射温度計で計測したが、通電だけでは最大80℃以上にはなっていないことが判った。現在はメーカーにも当該球を送り、調査依頼をしている。



図7：サイラトロンヒータ線の被覆劣化

5.4 全クライストロンモジュレータPFNコンデンサの交換

10年以上運転して絶縁油漏れを起こすコンデンサが目立ってきたのでPFNコンデンサの劣化を知るため、ケースの温度をモニターするラベルを貼るなどしたが、絶縁油漏れを起こす前に劣化を知ることは出来なかった。そこで、2010年度に、PFNコンデンサ全数（約300個）を交換した。新品交換初期にコンデンサの碍子部分の半田封止部からの油漏れが

生じたものが2個あったが、これはメーカー側からのトルク指示値がなく、取り付け時のナットを締めすぎた可能性もある事が分かった。その後大きな問題もなく、順調に稼働している。

まとめ

SPring-8線型加速器では更なるTop-up運転安定化のために、電子銃及びクライストロンモジュレータの安定化、ノイズなどの原因によるfaultの回数を押さえるような改良、改造を行ってきている。

電子銃関係では電子銃テストベンチの立ち上げを行っていたが、絶縁トランス部の故障が起こり、また同じ製品が無くなっている事もあり、再度製作するための検討を行っている。また簡易型試験装置の開発も開始した。

クライストロンモジュレータ関係ではモジュレータ用PFNコンデンサの変形、油漏れが多発し、13台全号機のPFNコンデンサを交換した。また、今後の保守を考えて、予備のPFNコンデンサを30個用意してある。

この他にモジュレータ構成機器単体の安定度を調査し、不安定なものは安定化するように改良、改造を行っている。現在はサイラトロン電源系の不安定の原因調査を行っている。商用電源電圧変動に連動して変動がある機器があり、この改良、改造を計画している。

参考文献

- [1] 小林 他、“SPring-8ライナックの電子銃2重化システム”、第5回日本加速器学会、東広島、2008.
- [2] 小林 他、“蓄積リングtop-up運転のためのSPring-8ライナックの安定化”、第3回日本加速器学会、仙台、2006.
- [3] 住友 他、“電子銃カソード温度測定・エミッションシステムの構築”、第8回日本加速器学会、つくば、2011.