

IMPROVEMENTS OF SPRING8 LINAC MODULATOR

T. Kobayashi¹, T. Asaka, A. Mizuno, H. Dewa, S. Suzuki, T. Magome, T. Taniuchi, K. Yanagida, H. Hanaki
JASRI/SPRING8

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

Abstract

A twin electron gun system was constructed to eliminate long-time interruption of the beam injections caused by electron gun's accidents. A new thyratron stands has been developed to reduce noise problems and to ease the maintenance of thyratrons. The improvement of the klystron modulators has decreased the fault rates of 0.06 events per day. The fluctuation of PFN voltage for replacing the new HV-fanout circuits was suppressed within 0.023% (1σ) per day

SPRING8線型加速器モジュレータの改良

1. はじめに

電子銃2重化については平成17年に図1、写真1に示すようなシステムに改造し、その後第1電子銃用電子銃モジュレータの高圧線や信号線を接続し運転を行ったところ、第2電子銃のエミッション電流測定及び1 GeVまでの加速試験を行い、ビーム性能に問題のない事が確認できている[1]。また新規開発した第2電子銃モジュレータ電源をクライストロンギャラリー室にすでに設置している。この夏に第2電子銃用の電子銃高圧デッキを加速管室第1電子銃高圧デッキ横約1mのところに設置する。冬季の運転開始を目指して、開発しているところである。

また11台のクライストロンモジュレータ(13台のクライストロンモジュレータのうち2台はビーム加速に使用していないが、rfエージングは行っている)では、2004年5月からのTop-up運転でモジュレータのfault率(faultはモジュレータが運転中に高電圧offになること)が6回/1日程度と頻度が高く、その対応を進めてきた[2]。現在ではモジュレータ11台で0.06回/1日のfault率まで減少させる事ができた。これらモジュレータの1日当たりのfault率の改善は、長年に渡り行ってきた年2回の定期点検、メタリレー改良、モジュレータ筐体のアース強化及び新サイラトロンスタンド[1]などを改良した事がfault率の低減に繋がっている。

最近では、deQ電圧過大(VdeQ)、直流高圧電源電流過大(IHV)等のfaultがクライストロンビーム電圧(Vpulse)、クライストロンビーム電流(Ipulse)のfaultに代わって目立ってきている。このIHVやVdeQのfaultの原因は調査中ではあるが、DC電源部及びPFN回路部で放電等があり、ノイズでfaultしているものと考えている。実際にモジュレータで使用しているPFN回路とモジュレータ筐体間の放電、コイル間の放電及びコンデンサの液漏れも多くなっている。そこで新PFN回路の設計を開始した。またHV-fanout回路を新規製作した結果、0.023% (1σ)/1日の安定度が得ら

れたので、これらについて報告する。

2. 電子銃2重化

線型加速器加速管室電子銃2重化部を図1に示す。200kV電子銃2個と青い90度バンドを目指しマグネット系が並べられている。上から見た図面が機器の構成配置を良く示している。この第2電子銃側に供給する電源が新型第2電子銃モジュレータである。新型第2電子銃用モジュレータを写真1に示す。写真のようにクライストロン室で第1電子銃モジュレータの下流側に配置した。外観上は全く同様に見えるが、PFN回路のコンデンサHAEFELY社の0.06 μ F(55kV)のコンデンサからGA社の0.06 μ Fのコンデンサに変更した。たまたまかも知れないが、第1電子銃モジュレータに使用したPFNコンデンサが原因不明の故障で液漏れを起こした。その時に中の様子を観ようと分解できそうなネジを緩めた所、アルミ板が天井に向かって飛び出し、あわや事故に成りかねない事があったからである。

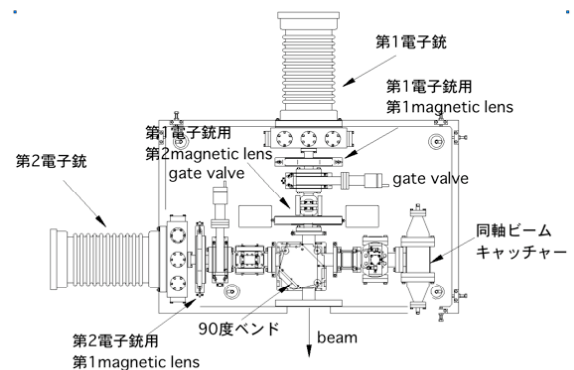


図1 電子銃2重化

¹ E-mail: tkoba@spring8.or.jp

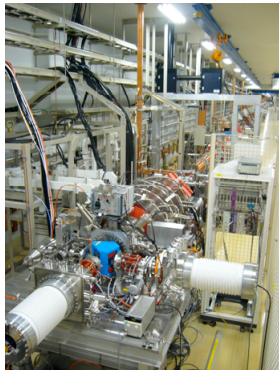


写真1 電子銃2重化写真

次に現在製作中の第2電子銃モジュールの配置を写真2に示す。基本的な構造は、同一のものである。



写真2. 第2電子銃モジュール (手前、奥は第1電子銃モジュール) と第1電子銃モジュール内部。

第2電子銃用モジュールのスペックを表1に示す。インバータ電源は最大40kVで使えるが、出力部の故障が頻繁に生じていたので、使用するインバータ電源電圧が12kV以内になるようにパルストランス比を1:30にし、供給する電源電圧を下げている。トランス比を大きくするために、パルストランスの静電容量が増大してパルス電圧の立ち上がり、立ち下がりが劣化するが、最大40nsのビームしか加速しないので問題ない。PFNインピーダンスは6.25Ωにし、25Ω 高压同軸ケーブルを4本並列接続して整合している。

表 1: 第2電子銃モジュール仕様

インバータ電源	12kV
PFN 段数	8 段
PFNインピーダンス	6.25Ω
PFN コンデンサ	0.06μF × 8
PFN コイル	1.56μH × 8
トランス昇圧比	1 : 30
パルス電圧	200kV
パルス電流	28A

3. 電子銃テストベンチ

マシン実験棟にあるビームディフレクターの開発に使用したテストベンチを一部改造する。また電子銃システムを製作し、この電子銃に最適化したウエネルト電極も製作する。

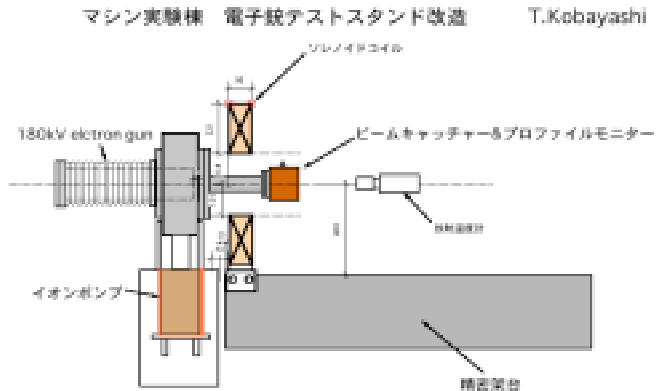


図2 電子銃テストベンチ

ここでの電子銃の試験は、次のようなもの考えている。電子銃の寿命のエミッション低下(エミ減)は、どの位の時間になるのか、またエミ減が観測される前に異常(fault原因)としては何が增多するのかなどの調査及び通常のパーピアンズ試験などである。

このテストスタンドでは、最大約70kVの直流高電圧しか印加できないので、Y-845カソードで3Aの電流を取り出してウエネルトとソレノイドによる集束で、カソードから約700mmのビームコレクタにビームを伝送できるように、E-gun及びmicrowave studio等でシミュレーションを行っている。

4. クライストロンモジュール

クライストロンモジュールは13台あり、通常は2台を待機号機としており、通常は11台のモジュールで1GeV利用運転を行っている。

4.1 現PFN回路

PFN回路に用いているオイルペーパーコンデンサ(55kV, 0.015μF)が定期点検毎にオイル漏れを起こしているコンデンサが発見される事が多くなってきている。このコンデンサを分解、調査を行うと素子が放電で黒色化した素子が見つかった。他の故障したコンデンサもこのような事例が多いのではないかと考える。このコンデンサを写真3に示す。コンデンサの亜鉛メッキしたケースの継ぎ目部分から絶縁油が漏れる。写真4は油を抜き、解体したところで、赤丸部分に放電痕が観られる。放電痕がある素子を開いたところ、素子全部に渡り放電しているのが確認できた。

コンデンサ素子は図3のようになっており、アルミ箔とCPとフィルムの3層構造になっていて、素子1つの耐圧は約10kVである。予備品として、同じ構造のコンデンサ（トーエー工業製）を30個購入した。この予備品の3個を夏期停止期間に交換し、長期間運転試験を行う予定である。

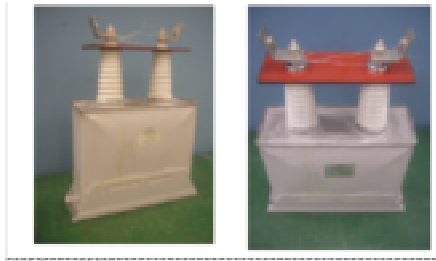


写真3 絶縁油漏れしたコンデンサ

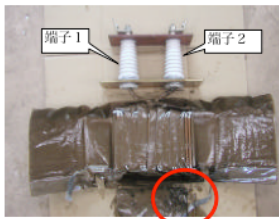


写真4 オイルペーパーコンデンサ内部

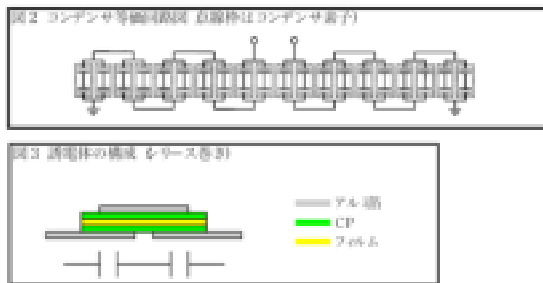


図3 コンデンサ素子

4.2 新PFN回路

現在のPFN回路は、a. コンデンサは絶縁油漏れ、b. PFNコイル間で絶縁破壊、c. PFN回路と筐体間の絶縁破壊 などがあり、安定度に問題がある。現在モジュレータのPFN回路は4並列14段（特性インピーダンス 3.3Ω ）である。新型PFN回路の特性インピーダンスも 3.2Ω にする。PFNコンデンサは $0.04\mu\text{F}$ 、インダクタンスは $1.6\mu\text{H}$ で18段、並列接続とする。PFN回路製作後、待機号機のモジュレータに新PFN回路を試験設置し、長期運転試験を行う予定である。またこの時にPFN回路と同様に、直流電源部のコロナ放電を防止するように、POISSONによる電界計算を行い、電界緩和の対策を行う事を考えている。

4. 3新HV-fanout回路

この回路が室温の変化により、出力電圧の変動が極力生じないように、増幅器に使用している素子と回路の見直しを行った。回路の温度特性を恒温槽の温度を 20 度から 60 度まで変化させて調べた。これらの試験で温度変化が生じてもfanout回路の出力に変動がない事を確認して、モジュレータ制御部にインストールした。そしてPFN電圧をdata baseとデータロガー（キーエンスFL-7500）の2種類で計測した。

このデータで大きな違いは：

[データベース]

- ・ データベースは5秒に1回のデータの取り込み
- ・ PLCの分解能は12bit
- ・ 2時間でメモリ容量圧縮のため間引き開始

[データロガー]

- ・ データロガーは約4ppsの取り込み
- ・ データロガーの分解能は14bit

である。

クライストロンギャラリー室でデータロガー装置を用いて、写真5のようにPFN電圧を取得した。またM6号機のPFN電圧をデータロガーで24時間計測した結果が図4で、PFN電圧安定度は 0.023% (1σ)であった。改造前の2時間のPFN電圧の安定度 (0.03% , 1σ)であったので、PFN電圧の安定度はより改善された。号機毎のばらつきはあるが、ほぼこの値と同程度になる大幅な改善がみられた。



写真5 データロガーによるPFN電圧安定度測定

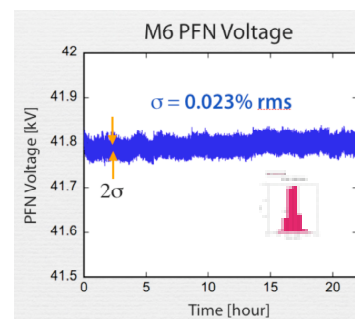


図4 データロガーでM6号機のPFN電圧安定度計測

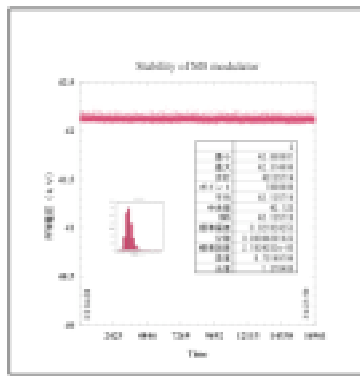


図5 M8号機の2日間のPFN電圧安定度

図5には2日間のM8号機のPFN電圧安定度を示す。2日間という長い時間ではあるが、電圧安定度が0.021%(1 σ)が、データロガーにより計測された。

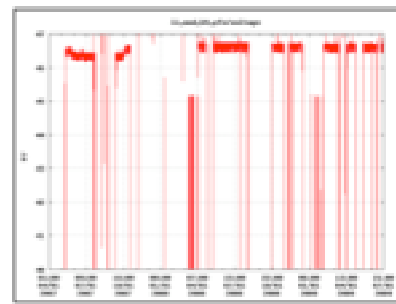
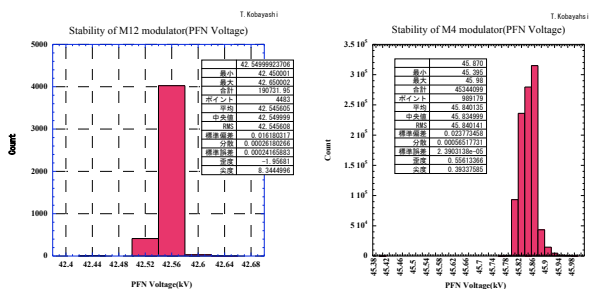
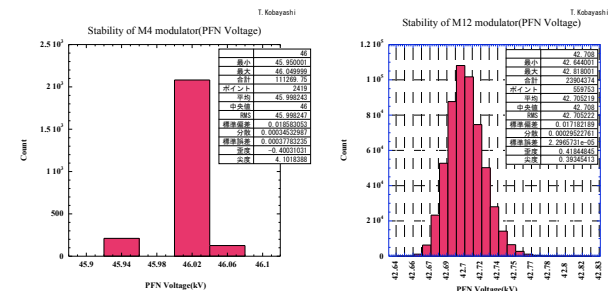


図7 H5号機の約6ヶ月間のPFN電圧安定度

H5号機のPFN電圧を約8ヶ月間に渡り、data baseからロードすると、図7のように2008.4月あたりからPFN電圧の安定度が改善されている。この時に新HV-fanout回路をインストールした。それ以前は3ヶ月程度で約1%のPFN電圧の変動が計測されていた。



M4号機のPFN電圧安定度
(左: DATA BASE, 右: データロガー)



M12号機のPFN電圧安定度
(左: DATA BASE, 右: データロガー)

図6 PFN電圧安定度 (代表例、M4, M12号機)

図6に示すようにデータベースでは、計測点数がサンプリングの関係で5秒に1点と高速にサンプリングされない。データロガーは4ppsで計測できているので、測定点数が多い。しかも分解能も高いので正確な安定度の評価ができ、一部の号機を除き、0.02~0.03% (1 σ)と、安定化された。

まとめ

SPring8線型加速器では、top-up運転時に安定に電子ビーム加速を行えるよう、電子銃及びクライストロンモジュレータの改造、改良し、PFN電圧の安定化をした。特にサイクロンスタンドとHV-fanout回路の改造等により、サイクル毎のfault率がtop-up運転初期の頃と比較すると、約1/100と大幅に減少できた。またPFN電圧フィードバックに用いている電圧増幅器を最適化し、モジュレータの安定度が0.023%(1 σ)と改善された。

参考文献

- [1] T.Kobayashi, et al., "Twin electron gun system of SPring8 linac", proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, higashihiroshima, Aug. 6-8, 2008
- [2] T.Kobayashi, et al., "Stabilization of SPring8 linac modulator for storage ring top-up operation", Proceedings of the 3th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006