

# PRESENT STATUS OF GUN TEST BENCH AND MODULATOR OF SPRING-8 1GEV LINAC

Toshiaki Kobayashi, Tamotsu Magome, Hideki Dewa, Shinsuke Suzuki, Tsutomu Taniuchi, Akihiko Mizuno, Kenichi Yanagida, Hirohumi Hanaki  
SPRING-8/JASRI  
1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 578-5143

## Abstract

We have used E3712 klystrons (Toshiba) as RF sources, and F-351 thyratrons (Triton) and L-4888C (L3-Communications) for klystron modulators during these 14 years after the beginning of the SPRING-8 operation. Their operating lives, which have widely distributed, are discussed in this paper. We have improved the following failures in the thyratron circuits: 1) instability of the thyratron heater and reservoir power supplies, 2) voltage fluctuation of the thyratron grid drivers, 3) deterioration of the thyratron (L-4888C) heater leads. A thyratron double pulse trigger system has been introduced to realize a long interval of thyratron firing for power saving without reduction of the RF powers. The electron gun test bench has been improved to accurately evaluate a brand new Y-845 cathode and other cathodes which can generate a higher current than Y-845.

## SPRING-8 1GeV 線型加速器モジュレータと電子銃テストベンチの現状

### 1. はじめに

SPRING-8 線型加速器では、運転開始から約 14 年間でいろいろな種類のサイラトロン（サイラトロン）の運用、試験を行ってきた。製造中止になった F-175, F-241, F-351 (Triton 社) などは保守品もなく、現在は L-4888C (L3 com 社) を使用している。主に使用していた F-351 サイラトロンの使用履歴と当初から使用している E3712 大電力クライストロンの使用履歴について報告する。

またサイラトロン関係で、サイラトロンのヒータ・リザーバ電源の高安定化を目指すため電源の直流安定化を行っている。またサイラトロンヒータ・リザーバ線の劣化でサイラトロンを交換している事例が多く、その対処を行った。

SPRING-8 線型加速器では、東日本大震災後の電力の逼迫から冷暖房及び照明は勿論であるが、各大型装置の省エネを進めている。この夏に全てのモジュレータをダブルパルス運転システムを構築する予定である。

最後に電子銃カソード試験のためのテストベンチでエミッション試験を行ったので、その結果についても報告する。

### 2. サイラトロン及びクライストロンの寿命

SPRING-8 線型加速器は 1998 年に運転が開始され、それに伴い、サイラトロンやクライストロンが稼働し始めた。サイラトロンに関係では初期の頃は E2V 社の CX1937A、Triton 社の F-175, F-241, F-351 などを使用していたが、初期の頃はサイラトロンのミスファイヤーやジッター及びヒータ線不良などで、かなりの頻度で交換していた。そして Triton 社がサイラトロン

製造から撤退したのに伴い、現在は L3 com の L-4888C を使用するようになってきている。このサイラトロンは後に示すヒータ・リザーバ線の溶損問題を除けば、大きな問題はない。モジュレータの繰り返しを 60Hz から 10Hz に下げて運転しているために、エミ減までのクライストロンの寿命が延びていると思われる。

#### 2.1 サイラトロン使用履歴

F-351 (Triton) サイラトロン 21 本の使用履歴を図 1 に示す。最も多い使用時間の分布は 6 本の 2 万-2.5 万時間で、次に 4 本の 5 万-5.5 万時間である。3 番目は 2.5 万-3 万時間の 3 本となる。Triton 社のサイラトロンは、最大使用時間 5.5 万~6 万時間のものもある。

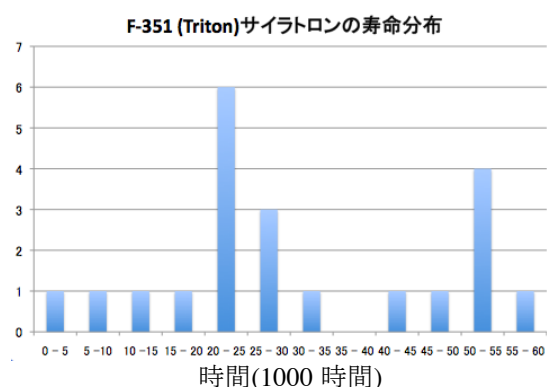


図 1: サイラトロン使用履歴

#### 2.2 クライストロン使用履歴

2012.8 月までのクライストロン使用履歴を図 2 に示す。今まで使用してきた全 16 本の E3712 クライストロンは、非常に使用時間 8 万~10 万時間に及ぶ長寿命の管球もあれば、1 万時間未

満で交換している球も 3 本あった。3 万時間以内の初期不良と 5 万時間以上の経年劣化の 2 つに分けられる。初期不良の原因は、ピンホールが球にあった例があるが、殆どはつきりしない。経年劣化は主に管内放電が頻発することによる。また近年はモジュレータの繰り返しを 60Hz から 10Hz に下げて運転しているために、エミ減までのクライストロンの寿命が伸びていると思われる。

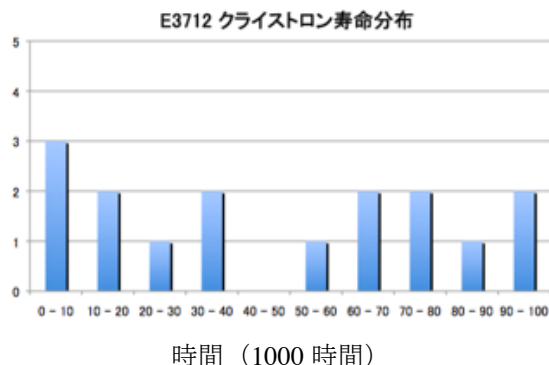


図 2：クライストロン使用履歴

### 3. サイラトロン関係の改良

#### 3.1 サイラトロンヒータ・リザーバ線の改良

SPring-8 線型加速器で使用してきた E2V 社 CX1378A、TRITTON 社 F-351 など、L3COM 社 L-4888C などのヒータ・リザーバ線の劣化[1]が早く現れ、最悪の場合には溶け落ちる事などがあつた事を昨年の加速器学会でも報告している。調査の結果、1) サイラトロンヒータ・リザーバ線の電流が使用しているケーブル容量の最大定格に近い。2) ケーブルとスリーブを圧接して繋いでいるため、抵抗が大きくなっている。が主な原因であった。ヒータ・リザーバ線のリターン線の共有部分をなるべく短くなるように改造した。この後、同様の症状で使用を中止しているサイラトロン 5 本程度も修理する予定である。また、L3com から購入するサイラトロン (L-4888C) は、全てのサイラトロンヒータ・リザーバ線は、このように製作するように指定している。



図 3 (a)：ヒータ・リザーバ電源ケーブル部が劣化。被覆のガラス繊維が劣化。

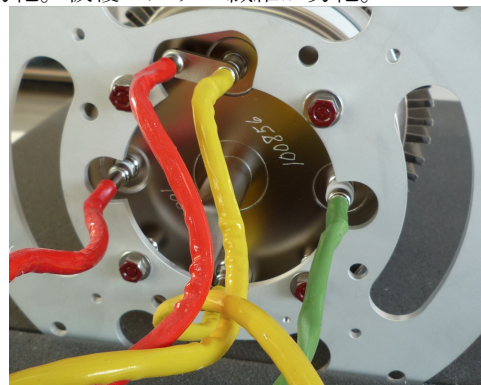


図 3 (b)：ヒータ・リザーバ線の改造後の L-4888C サイラトロン。ヒータ・リザーバ線が銅板で繋がっている。

#### 3.2 サイラトロンヒータ・リザーバ電源直流化

サイラトロンヒータ・リザーバ電源がスライダックの変動（接触不良）と思われる原因で、不定期に変動する事が生じていた。そこでスライダックを使用しないシステムとしてサイラトロンヒータ・リザーバ電源の直流電源化を進めている。2011.2 月の停止期間に M14 号機で仮設置試験運転を行い、特に大きな問題がなかった。そこで、本年 3 台製作し、実機に 2 台実機として投入し、2 台を予備とする。

### 4. モジュレータのダブルパルス運転（低繰り返し省エネ運転のため）

省エネルギー対策としてモジュレータの繰り返しを 10pps から、5pps に繰り返しを下げ運転を続けている。PFN コンデンサなどに生じるリーク電流のため、クライストロンに印加される電圧が低下する。そこで所定の RF パワーを取り出すために、PFN 設定電圧を上げて、同じ RF パワーを得ている。その設定電圧も限界まで達しており、繰り返しを下げる事が出来なくなっている。コンデンサ等のリーク電流対策として、サイラトロンを本来の 60pps の間隔でトリガを送り、1 回目のサイラトロンの放電で、繰り返し延長による PFN 電圧の減衰を RESET し、次のトリガで再度共振充電（共振充電時間 9ms）させ、この充電時のパルス電圧にビーム加速するシステムを検討している。そこで M16 号機の 1 台で試験的にダブルパルス運転試験を行った。基本的なシステムに問題はなさそうであったが、モニター系のタイミング関係が整っていないため、最初のパルス電圧をピーク回路が読んでしまう問題があった。この夏の夏季停止点検期間に、

この改造も行い、夏季停止期間後の運転に導入する予定である。

## 5. 電子銃テストベンチ

電子銃テストベンチの当初はカソードエミッション試験を行う装置として設置を行ったが、その後の deflector 装置の開発・試験及び実機に使用する新型電子銃モジュールの開発のため、使用していた。本テストベンチでは直流高压 DC 電源を用いるように、再設計を行った。

### 5.1 電子銃テストベンチの最適化

電子銃碍子の耐圧の問題から最大電圧を 70kV とし、加速電界強度が実機の電子銃と同じになるように、アノード、ウエネルト形状等を設計、製作した。昨年の発表にもあるが[2]、その後絶縁トランスなどの故障があり、あまり進展できていなかった。最近、新規絶縁トランスを設置し、運転できるようになり、このテストベンチで Y-845 カソードの電子銃エミッション試験を行った。

電子銃カソード Y-845 は、何度かエミッション試験、窒素パージを繰り返して、大気解放しても問題ない事を確認した（3回）。窒素パージ後のエミッションは 8%ほど少ないが、3回とも Heater flashing (6V→8V, 10min.) を行うと、図 4 のようにエミッションは回復した。

以前から、エミッション試験後に再度取り付けてエミッション試験を行っても同じ電荷量を取り出せないという問題があったが、Heater flashing を行う事で、同じ電荷量が得られた。また、このカソードの 4 回程の Heater flashing 後のグリッドには、マイクロスコブによるグリッド計測でもグリッドに Ba の付着はあまりなく、比較的綺麗なグリッドであった。この方法は有効であった。

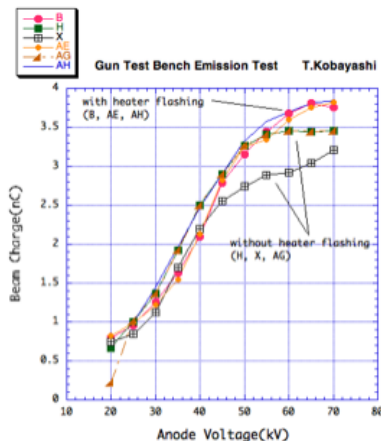


図 4: Y-845 (CPI 社)電子銃エミッション試験。

### 5.2 HWEG1244(Heat wave 社)カソード試験

CPI 社の Y-845 電子銃カソードの 2 倍のカソード面積を持つ Heat wave 社 HWEG1244 の試験を電子銃テストベンチで行った。電子銃カソードに印加するバイアス電圧を、200,150,60V と設定し、エミッション特性測定をした。グリッドパルサの出力電圧は 300V で固定した。予想パルス電流は 4A から 8A になる予定であった。しかし、さまざまな調整をしても、図 5 のように電子銃エミッションが増えることはなく、最大 4.3A であった。

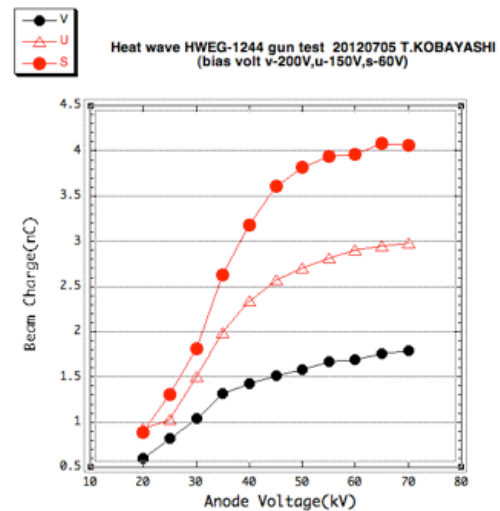


図 5: HWEG1244(Heat wave 社)電子銃エミッション試験。

図 6 に電子銃テストベンチ加速、収束部のエミッション軌道を系全体に渡り、シミュレーションした結果を示す。ファラディカップにエミッションを絞り込む事はできる。しかし大電流に対応したアノードやウエネルト形状になっていないため、アノードを通過できないエミッションが約 5A 程度ある事が図 7 のようにマイクロウェーブスタジオの計算から判った。ウエネルト及びアノードの最適設計したこれらの電極を製作し、再度エミッション試験を行う予定である。

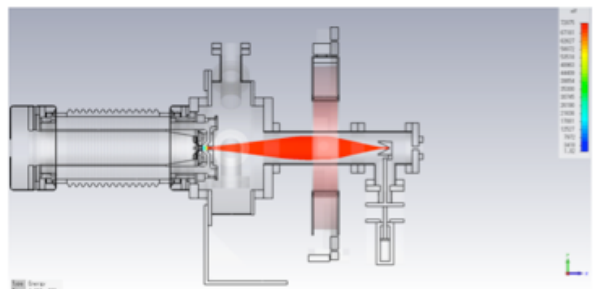


図 6 : HWEG1244(Heat wave 社)電子銃装着時のエミッション試験。

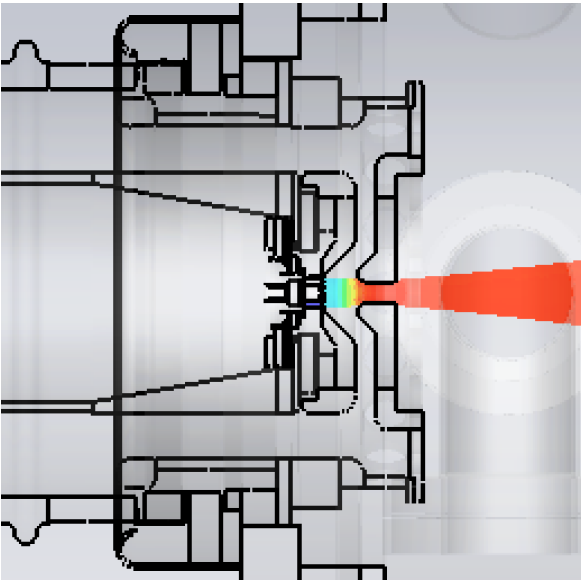


図 7： HWEG1244 電子銃カソードを装着した時の電子銃アノード部のビーム軌道。アノード部でエミッションを損失している。

#### 参考文献

- [1] T.Kobayashi, et al., "Improvement of gun and klystron modulator of SPring-8 Linac", Proceedings of the 8th Linear Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug.1-3, 2011
- [2] H.Sumitomo, et al., "Construction of Cathode thermometry and emission test system", Proceedings of the 8th Linear Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug.1-3, 2011