

[30 a - 1]

## COMMISSIONING OF SPring-8 LINAC

Yokomizo H., Yoshikawa H., Suzuki S., Yanagida K., Mizuno A., Sakaki H., Hori T.,  
Taniuchi T., Asaka T., Kobayashi T., Itoh Y., Kuba A., Fukushima S.

JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team, Kamigouri, Ako-gun, Hyogo, 678-12, Japan

### ABSTRACT

*The construction of the linac has been completed. The beam commissioning was successfully started on August 1st, 1996. The electron beam was transported upto a beam-dump at the end of the linac on August 8th. Precise alignment of the linac was achieved within the error of  $\pm 0.2\text{mm}$  using the laser system. A computer-aided automatic aging system was developed and successfully operated for the microwave aging inside the waveguides and accelerator columns. It took only 550 hours to reach the full power operation of whole klystrons.*

## SPring-8 線型加速器のコミッショニング報告

### 1. はじめに

大型放射光施設SPring-8の施設整備は、蓄積リングが据え付け工事の最終段階、シンクロトロンが据え付けを終了し、各種機器の試験および高周波加速システムのエイジング段階、線型加速器がエイジングを終了しビームコミッショニング段階となっている。サイト整備では、中央管理棟、食堂の建設が進められており、利用研究者用の宿舎は全4棟のうち1棟が完成した。

線型加速器は平成7年12月までに大きな機器の据え付けを終了し、平成8年3月までに機器単体での試験を終了した。4月からマイクロ波による加速管、立体回路等のエイジングを行い、8月1日からビーム試験を開始した。本論文では線型加速器の各種試験結果、ビームコミッショニング結果について報告をする。

### 2. 線型加速器の概要

線型加速器は、電子銃から出口スリットまで全長140mであり、39mの輸送系を経てシンクロトロンへ接続している。

加速管は全部で26本使用し、1本当たり81セル、長さ2.835mの進行波型である。製作方法は、大型真空炉を使用したロウ付法である。各セルの位相調整は、気圧、温度、湿度を補正した状態で自動調整機械を使って行った。加速管の使用条件3

0°Cにおいて各セルの位相精度が $\pm 2^\circ\text{C}$ の範囲内に充分収まる高性能の製品が完成した。これらの加速管2本ごとに1本のクライストロンからマイクロ波を供給することにし、クライストロンとしては最大定格80MW、4 $\mu\text{sec}$ 、60ppsの製品を13本採用した。

クライストロンの電源であるモジュレータは、最大出力190MWでパルス矩形換算幅5 $\mu\text{sec}$ 、パルス平坦部2 $\mu\text{sec}$ 、パルス平坦度 $\pm 0.5\%$ 、運転繰り返し60ppsの能力を有している。筐体の大きさは、2m x 4m以内とし、その中に14段4並列のPFNを縦積みで収納している。単体性能試験では、パルス平坦度、パルス幅、出力安定度など総て目標性能を満足して居り、かつ8時間の連続運転でも異常のないことを確認した。

### 3. 精密据え付け

線型加速器の加速管室には一直線上に26本の加速管と、ほぼ2本の加速管ごとにトリプレット四極電磁石(QT)を配置した。ビーム位置調整用にQT直後の加速管外壁にはステアリングコイルを取り付けた。精密据え付け方針は、まずQTを精度良く設置し、そのQTに対して加速管を据え付けるものとした。

140mの長さでも、一端を水平にすると他端では地球の丸みにより3mm高くなることから、総ての機器をレーザ光軸上に据え付けることにした。

レーザは、実際の機器の据え付け時に使用するビーム軸上と、後々アライメント状況をチェックするためのオフ軸の2ヶ所に設定した。レーザ光は、直径がレーザヘッド直後で12mm、140m先で2.4mmとなるように調整した。レーザの指向性を常時140m先の固定検出器で確認しつつ、各四極電磁石の内径中心がレーザ軸上に一致させる。レーザ光の測定は、測定精度が $\pm 15 \mu\text{m}$ 以下の位置検出器1台で行い、各電磁石を移動させて使用した。据え付け直後の測定では、レーザ軸上に $\pm 150 \mu\text{m}$ 以下の精度で総てのQTが据え付けられた。その時点でのオフ軸上のデータは、 $\pm 200 \mu\text{m}$ 以下となっていた。約10ヶ月後の平成8年7月に再測定したところ、大きな変位は発生していないことを確認した。

#### 4. エージング

立体回路、加速管は、現地に据え付けてのち初めてマイクロ波によるエージングを行うことになる。従って、時間も手間もかかると予想できた。そこで出来るだけ計算機による自動エージングをはかることにした。まず、4月に1セットのみ先行してエージングを行い、そこでエージングロジックを確立するための試験を行った。

クライストロン出力窓から導波管約10mを経由して加速管に至る。1本のクライストロン出力を2本の加速管に半々づつパワーを供給していることから、3dBの方向性結合器及び一方の導波管に大電力位相器が挿入されている。真空排気ポンプはクライストロン出口直後の真空窓に20l/sec、導波管に50l/sec、そして加速管入口真空ダクトに100l/secが配置してある。ベース真空度は $1 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 以下である。最初はモジュレータの高電圧のオン、オフをする事から試験を始め、より複雑なインターロックロジックを試験した。

真空度に関して3つのレベルを設定した。レベル1はlowerレベル ( $4 \times 10^{-6} \text{Pa}$ )で、このレベル以下では徐々にモジュレータの高電圧値を上昇させていたものを、このレベルを越えると高電圧を現状に固定させる。レベル2はupperレベル ( $8 \times 10^{-6} \text{Pa}$ )で、この値を越えるとモジュレータの高電圧値を徐々に減少させる。レベル3はインターロックレベル ( $1 \times 10^{-6} \text{Pa}$ )で、このレベルを越えるとモジュレータの高電圧をオフさせる。約2分間停止させた後、高電圧16

0kVから再起動させる。時間差分によって真空度の劣化を察知するロジックも採用した。

最初はパルス幅 $0.5 \mu\text{sec}$ 、10ppsでエージングを開始した。数MWまで出力を上げるのに数日がかかった。クライストロンに近いところからアウトガスが多く発生し、そこが涸れると次の場所に移っていくのが鮮明に見られた。50MWレベルの出力を通過するのにも時間を要した。エージングを自動化したことから、真空度の上下によってモジュレータの高電圧を上下することを繰り返し、長時間単調な作業を昼夜に亘って飽くことなく続けることが可能となった。また、微妙に高電圧を制御する事によってレベル3のインターロックが作動する事が減少し、その結果止まっている時間が減少し、エージングの効率が向上し定格運転条件までの時間の短縮が図られた。最大電圧400kVまで到達したら、その後、パルス幅を $1 \mu\text{sec}$ に広げ、再度低い電圧から同様なエージング運転を繰り返し、順次、 $2 \mu\text{sec}$ 、 $4 \mu\text{sec}$ のパルス幅で実行した。

5月になってから13セットのクライストロンシステムを同時にエージングすることを開始したが、スムーズに出力の上げられるものと時間のかかるものがあり、結局時間のかかるものを待ってからパル

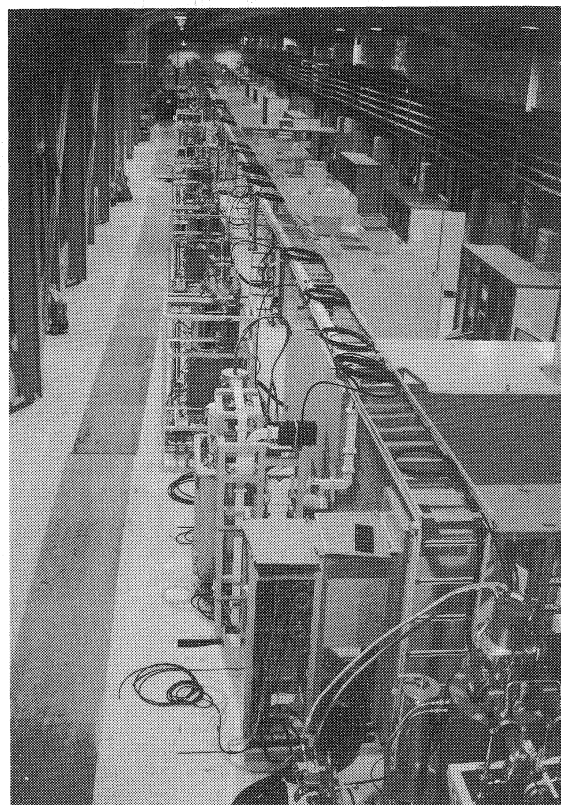


写真1. クライストロン室。上流から下流側を望む。

ス幅の変更などを行ったため、全体の進行は一番遅いもので決定されることになった。全体のエージングを開始してから、最大定格 $4\mu\text{sec}$ 、 $60\text{pps}$ 、 $80\text{MW}$ にすべてが到達するのに要した時間は、550時間であった。これは、当初予想した時間より大幅に短縮されたものである。エージングが短時間で完了できた要素として、加速管、導波管などのマイクロ波機器のすべてが真空ロウ付けによって製作されたものであり、焼きだしの効果があったものと考えられる。また、事前の試験検討を通してマイクロ波による放電の起きにくい機器配置、真空排気能力の改善や、真空マニホールドの製作法の改善などを図ったことも寄与している。

## 5. ビーム試験

電子発生部は、原研東海において試験を行ったのち電子銃からプリバンチャーまでの距離を短縮する改造を加えて現地に据え付けた。これは、特に大電流時にスペースチャージの影響を小さくするための措置である。スクリーンモニタと2つのヘルムホルツコイルを撤去し、約50cmの短縮を行った。

カソードアセンブルはY796を採用しているが、現地据え付けに伴い、新しいものを取り付けた。しかし、最初に取り付けたカソードはヒータオフ時には正常であるが、ヒートアップ時にグリッド電圧がか

からなくなるトラブルが発生した。修理後に取り付けたカソードアセンブルは正常に作動しており、東海研での試験時に使用していたものよりエミッション特性が改善され、同一条件で比較して大きな電流値が得られている。

バンチングシステムは、2台のリエントラント型プリバンチャーと、1台の定在波型バンチャーから構成されている。バンチャー直後に加速管1本が続いている。8月1日にビーム発生を開始してすぐに、ここまでのビーム加速が確認できた。8月7日に運転を再開して、加速管7本での加速を行い、偏向電磁石による約250MeVでのエネルギーの確認を行った。ビーム試験を開始して3日目にあたる8月8日に、全加速管26本の加速を行い最終ビームダンプまで輸送した。バンチャー直後から最終ビームダンプまで、電子ビームは100%透過している。

## 6. おわりに

線型加速器のビームコミッショニングが、順調に開始できた。今後は、より詳細にビーム特性を解析し、運転条件の確立を図っていく。平成8年10月からシンクロトロンへの入射を控えて、その入射条件の確立を行う。シンクロトロンのビームコミッショニングを経て、平成9年2月から蓄積リングのビームコミッショニングを開始する。

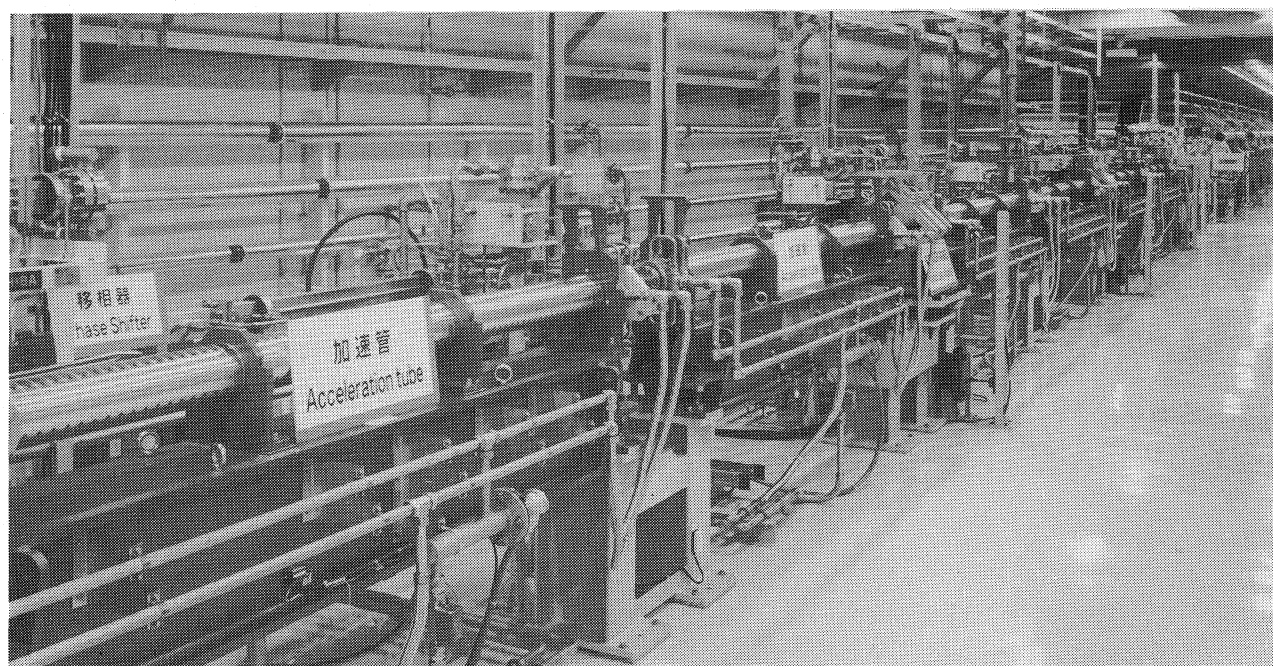


写真2 加速管室。上流から下流側を望む。