

[F17p04]

## Stability of the RF System at SPring-8 Linac

T. Asaka, H. Akimoto, H. Abe, T. Ohnishi, T. Kobayashi, H. Sakaki, S. Suzuki, T. Taniuchi, S. Nagasawa, T. Hori, A. Mizuno, K. Yanagida, H. Yoshikawa and H. Yokomizo

Japan Synchrotron Radiation Research Institute  
SPring-8, Mihara, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo, 678-5198 Japan

### Abstract

The stability of the beam energy and energy spread at both the 1GeV S-band linac and the 8GeV synchrotron ring are crucial factors for determining the injection time for the storage ring. Since the linac has a lot of high-power RF equipment, any drift of the output power and phase from the various RF equipment will affect the beam energy in usual beam operation.

We measured the output power and phase stability of the following RF equipment, i.e., the 7MW booster klystron drive system, the other high-power klystron drive system, and the 80MW klystron. In order to investigate the drift of the RF parameters in klystron, which can be influenced by outside factors, the cooling water temperature and environmental temperature were also measured. In this paper, the composition of the RF equipments and the measurement result are described.

### SPring-8 線型加速器における高周波システムの安定性

#### 1. はじめに

SPring-8 線型加速器における 1GeV 加速後のビームエネルギー、ビーム電流変動原因調査のため、これらのビームパラメータに大きく影響を及ぼすところの高周波電力及び位相変動に着目し、長時間にわたる同時計測を行った。測定は各コンポーネント (Sバンド増幅器、Sバンドクライストロン、矩形導波管) に対して校正された高周波検波器による電力測定、ミキサ (DBM) による基準周波数からの位相測定を行った。その他、大電力クライストロンに関しては高周波空洞における非温調系冷却水温度及び環境温度の計測も行った。本稿においては環境温度及び非温調系冷却水温度変化、クライストロン変調器電源の電圧変動から受ける高周波電力、位相の定量測定結果及び相関関係を示し、安定化向上のための改造についても併せて述べる。

#### 2. ビーム安定性

1997年2月25日に行われた長時間のビーム電流測定における線型加速器のビーム変動の様子を図2-1に示す。ここでのビーム条件はビームパルス幅が 1μsec、バンチング効率が 60%で得られているビーム電流 (20mA) となる。エネルギー調整は各加速管の電力供給源である 80MW クライストロン変調器電源のパルス電圧により行われる。またバンチャー部、加速管における位相は 1GeV ビーム偏向後のプロファイルモニターによりエネルギー最大となるよう調整し、その際、調整した加速管周辺の四極電磁石、及びステアリングは再度軌道調整を行うものである。測定は 1GeV ビーム測定のための壁電流モニターを使用し、偏向電磁石前後の 2ヶ所について同時計測を行った。さらにビーム電流測定点は機器変動に大きく依存するビームパルス幅の先頭バンチ列である 50nsec 区間とし、その範囲内の値を平均化して取得し

た。測定中、運転条件の変更はなかったが、管内真空悪化、クライストロン変調器電源の過電流などにより 6 回のビーム停止があった。再立ち上げに対してビーム輸送効率及びビームエネルギーは再現している。1GeV ビーム偏向後の電流変動は 25分周期の変動が観測されている。さらに 10 時間にわたるエネルギー推移も確認されており、通常運転では各加速管の出力電力、位相再調整により補正している。以上の変動要因としてクライストロン空洞及び加速管への冷却水温度変動及び環境温度変動、管内真空度の変化などが考えられる。またビームパルス毎に発生している ±1% の電流変動については各クライストロン変調器電源の高電圧変動やビームタイミングの時間ジッター等に起因しているものと考えられる。

以上のビーム電流測定結果をふまえて導波管のような受動素子を含んだ高周波機器に対する安定度を調査するため、2856MHz 基準発振器出力、TWT 増幅器出力、ブースタークライストロン出力、ドライブ電力分配システム、電力及び位相調整器 (IφA) 入出力、80MW クライストロン出力 (M14 クライストロン) において電力並びに位相変動測定を行った。

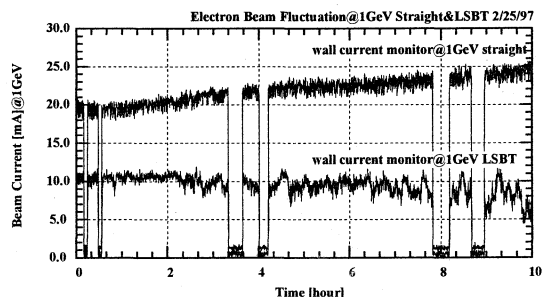


図2-1 1GeV 直線部及び偏向部ビーム電流変動

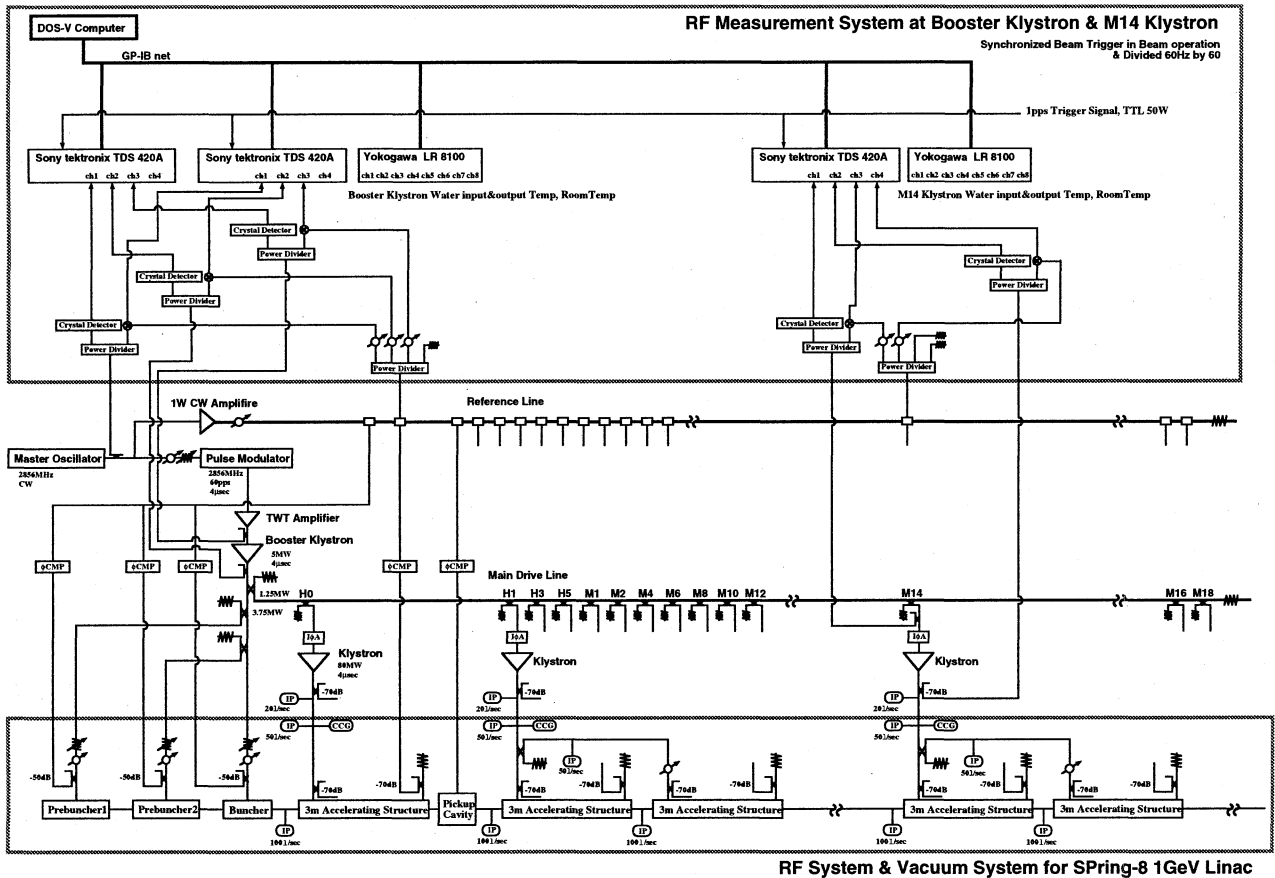


図 3-1 高周波電力及び位相定システム構成

### 3. 高周波機器及び測定系の構成

線型加速器の高周波システムは主発振器としている HP8664A から CW の 2856MHz を出力し、分配器を介した後、一方は 1W 増幅器を経て最下流部までの 70m にわたる位相安定化ケーブル (SF ケーブル) により伝送を行い、各セクションのクライストロン及び加速管での位相比較のための基準信号としている。もう一方は 1~4μsec のパルス変調をかけた後、TWT 増幅器によりプースタークライストロンの最適入力電力レベルである 200W 程度までの増幅を行い、7MW プースタークライストロンへ供給している。このクライストロンにおいては加速器の初段にある 2 台のプリバンチャーと 1 3 セル定在波型空洞のバンチャーへ 4MW の電力供給を行い、さらに 3m 加速管への電力供給源である 1 3 台の 80MW クライストロンのドライブ電力分配システムへ 1MW を供給している。この電力分配システムは 70m にわたって矩形導波管、ベローズ管 (主ドライブライン) と各 80MW クライストロンの位置に用意されているベアホール結合器から構成されており、各結合器から 1kW 程度を得て I<sub>0</sub>A を介し電力レベルの最適化の後、80MW クライストロンへ供給される。1 3 台のクライストロンからの出力電力は通常運転では約 40~60MW の範囲内で各加速管の励振を行っている。

測定システムの構成は各高周波機器の出力部にある方向性結合器からの高周波電力を 3dB 分配器を介した後、

一方を電力校正された高周波検波器へ接続し、もう一方は位相検出のための DBM へ入力するものである。特に位相測定に関しては位相比較のための基準となる高周波信号を使用することから、この基準信号の安定度を保証する必要がある。この場合の基準信号は 2856MHz の CW が伝送されている 70m にわたって設置された位相安定化 SF ケーブルを使用した。このケーブルの温度特性試験において ±0.4deg./3℃である結果が得られている [1]。さらに測定機器及び配線に使用したケーブル (SUCOFLEX) についても環境温度による依存性の少ないものを採用した。全ての測定値は電圧信号で扱い、4 台のデジタルオシロスコープ (TDS 420A Tektronix Inc.) へ入力されパルス電圧波形として得られる。またデータ取得のタイミングは外部トリガーとしてビームとの同期をとるため、1Hz で動作するものとしている。全てのオシロスコープは GP-IB ネットワークにより遠隔操作可能であるものとし、データの取得は DOS-V 計算機上で行えるものとした。データ取得プログラムは高周波機器状態の同時性を得るため、最初に全てのオシロスコープをストップ状態にする。そしてグランドレベル及び信号レベルの測定後、正味の出力を算出し、各測定機器の減衰レベル及び校正値による補正を行い、取得を完了するものである。この一連の動作は 1 5 秒毎の繰り返しで行われる。以上の測定システムの構成を図 3-1 に示す。

#### 4. 測定結果

高周波測定は1998年2月19日から3月26日までの約1カ月にわたり行った。測定開始からデータ解析は随時行い、その結果から変動発生要因と考えられる高周波機器周辺の修正が加えられた。

主発振器とTWT増幅器の出力電力変動は環境温度変化に対して0.5%/4.5℃以下であった。また位相に関しては測定限界の0.2deg.以下であった。当初、TWT増幅器の電源部であるノイズカットトランスの故障により、商用電源変動の影響を受けていたが、修整後は上述した結果となった。プースタークライストロンにおいても電力変動としては0.5%/4.5℃以下であった。しかしながら位相についてはクライストロン空洞冷却水温度変化に伴い0.4deg./℃の依存性を有することが確認された(図4-1)。プースタークライストロン出力より分岐された主ドライブラインに関してはプースタークライストロンから60m付近のM14/80MWクライストロンIφAで測定を行った。IφA入力の電力変動はプースタークライストロン出力に伴い0.5%/℃以下となっているが、位相は環境温度に依存し10.0deg/4℃の変動を有する(図4-2)。これは空調の温度制御に伴う主ドライブライン導波管長の伸縮から生じるものである。IφAの環境温度による入出力特性としてはクライストロンギャラリー内温度範囲(25±2.5℃以下)での使用においても電力レベル、位相、共に安定動作することが確認されている。80MWクライストロン出力電力及び位相変動はプースタークライストロン同様、位相が0.8deg./℃のクライストロン空洞冷却水温度に対する依存性をもつが(図4-3)、それとは別の変動要因も確認された。この変動は±1%のクライストロンビーム電圧変動により起こるものであり、これは出力電力、位相それぞれに同期した影響を与えている。

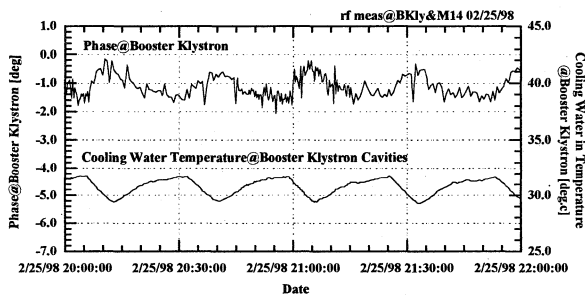


図4-1 プースタークライストロン空洞冷却水温度変化と出力位相の相関

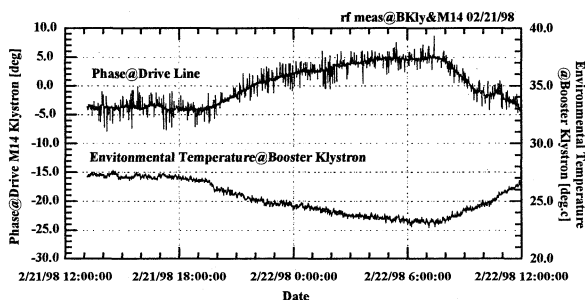


図4-2 主ドライブラインでの環境温度と位相との相関

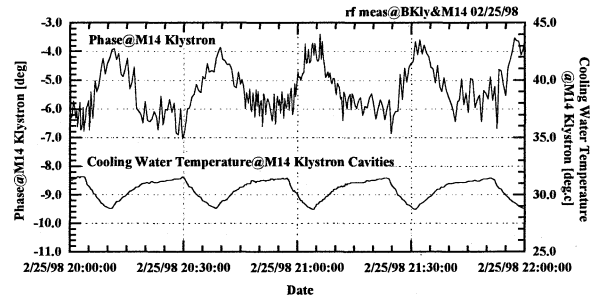


図4-3 80MWクライストロン空洞冷却水温度変化と出力位相の相関

クライストロン変調器電源はdeQing方式により出力電圧の安定化を行っている[2][3]。deQing回路はエネルギー回収型に加えて、ブリーダー抵抗(50Ω、12series)を増設することで最大deQing率を7%としている。これにより電源変動からの影響を受けず、±0.5%以内の電圧安定度を実現している。しかしながらM14クライストロン変調器電源のdeQing率が15.3%に設定されており、これによるdeQing回路への過大電流が整流回路に余分な電圧を与えることとなり、結果としてクライストロンビーム電圧の変動となった。現在はdeQing率の再調整を施し、6.2%としている。他の変調器電源においても同様のクライストロンビーム電圧安定度測定を行ったが、±0.5%の既定値以内に抑えられていることを確認した。

#### 5. まとめ

現在、蓄積リングへのビーム入射は午前8時と午後8時の1日2回で行われているが、その際に線型加速器で生成されるビーム電流及びエネルギーの再現性、ビーム入射中の安定性は入射時間を決定し、この短縮化が放射光施設における入射器の重要な役割である。

今回の測定からビームの再現性、安定性に対してその影響を与える機器とその原因の調査、確認を行った。ビーム再現性に関して影響しているのは主ドライブラインの環境温度変化による位相変動である。これは1日2回の入射においてバンチャー部と各加速管の位相関係が8.0~10.0deg.の変化に相当する。現在クライストロン室内温度の制御パラメーター変更により改善を行っている。また主ドライブライン周辺へのヒーター導入による温度管理も考えている。入射中ビームの変動要因のほとんどが高周波機器の環境温度や電源変動のような外的要因によるものであり、その変動も周期性を有している。特に2.5分周期のクライストロン空洞冷却水温度変動が出力位相で0.8deg./℃であり、全てのクライストロンが同方向に位相変化を与えていることとなる。現在冷却水温度制御方式の変更を行い、±0.5℃以下にする予定である。

#### 参考文献

- [1] T. Ohnishi et al., "Phase Instability Measurement of The RF Driver System for SPring-8 Linac", Proc. of the 22th Linear Accelerator Meeting in Japan (held at Sendai, Sep. 1997), pp140-142.
- [2] A. Mizuno et al., "Modulators for SPring-8 Linac", Proc. of the 10th Symposium on Accelerator Science and Technology (held at Hitachinaka, Oct. 1995) pp76-78.
- [3] T. Hori et al., "Pulse Modulator for 80MW Klystron in SPring-8 Linac" Proc. of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan (held at Osaka, Sep. 1995), pp272-274.