

## Phase Instability Measurement of The RF Driver System for SPring-8 Linac

T. Ohnishi, H. Yoshikawa, S. Suzuki, K. Yanagida, T. Hori, H. Sakaki, T. Asaka,  
H. Akimoto, M. Yamazaki, M. Adachi, S. Nagasawa and H. Yokomizo  
JAERI SPring-8 Project Team

SPring-8, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo-ken, 678-12, Japan

## Abstract

We have measured stability of RF components for stable electron beam in the SPring-8 injector Linac. In these measurement results, we have measured RF phase instability for RF driver system, and examined correlation of temperature and so on.

In this paper, we report the outline of RF driver system, RF phase instability of Drive-Line in RF driver system and Reference-Line for Phase Measurement System.

## SPring-8 線型加速器における RF 励振系の位相測定

## 1 はじめに

現在 SPring-8 線型加速器ではビーム安定度の向上を図るため、各 RF コンポーネントの安定度試験を行っている。その一環として RF 励振系の位相変動測定を実施し、環境温度等不安定要因との相関を調査した。ここでは RF 励振系の概要、RF 励振系ドライブラインの位相変動測定、リファレンスラインの位相変動測定等について報告する。

## 2 RF 励振系の構成

図 1 に SPring-8 線型加速器の RF 励振系の構成図を示す。マスターオシレータより CW で出力された 2.856 GHz の RF 信号はパワーアプダで 2 分岐される。

一方の RF 信号は、繰り返し 60 pps、パルス幅 3.0 μsec にパルスモジュレータで変調され、TWT アンプで約 50 dBm まで増幅される。この信号は、プースタークライストロンで 98.5 dBm まで再度増幅され、バンチングセクション及び RF 励振系の RF ソースとなる。プースタークライストロン出口の RF 電力は、6 dB の方向性結合器でバンチングセクションに 97.2 dBm、108 m に渡り設置されている矩形導波管のドライブラインへ 92.5 dBm 伝送される。各クライストロンへの励振電力は、ドライブラインから 25.5 もしくは 27 dB の結合度を持つベテホール型方向性結合器で分岐され、位相及び減衰量を調整する IΦA ユニットの介して供給される。

もう一方の RF 信号はマスターオシレータより伝送された RF (0 dBm) を ΦAMP (CW AMP) ユニットの 30 dBm まで増幅し、ドライブラインと同じ場所に設置されている SF ケーブル (2 PPM/°C) で 102 m に渡り伝送される。20 dB の方向性結合器で分岐されたこの RF 信号は、さらに 2 分岐され各位相比較器の基準信号として供給される。[1][2]

位相測定システムは、マスターオシレータの位相を正確に反映しているリファレンスラインの基準 RF 信号と、加速管のダミーロードに取り付けられている方向性結合器からの RF 信号とを位相比較器で比較し、その位相差を検出

するものである。その位相変動データを VME で読み込み、各 IΦA ユニットのフィードバックする事により、加速管へ供給する RF 位相の安定化を図ることを目的としている。しかし、現在のところ位相比較器が全て納入されていないため、位相測定システムを用いた自動位相フィードバックは行っていない。今回の位相測定は、この測定システムに使用されている位相比較器を用い、位相変動量の測定を行った。

## 3 位相比較器

位相比較器のブロック図を図 2 に示す。位相を比較するコンポーネントには 2 入出力ポートを持つ Anaren 社 2A0756 を採用した。入力側には、位相と電力レベルの調整が独立して行えるよう減衰器と位相器を用意した。

入力 RF : A の位相角  $\angle a$  と入力 RF : B の位相角  $\angle b$  の位相差 :  $\theta$  ( $\theta = \angle a - \angle b$ ) は 2A0756 内部でベクトル的に分解され I, Q 2 つのポートに電圧として現れる。ここで I, Q,  $\theta$  の関係は、入力 RF 電力に比例した任意の値を  $k$  とすると、以下の式で表される

$$V_I = k \cos \theta, \quad V_Q = k \sin \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} V_Q / V_I$$

出力段に用意されたサンプルホールド回路の出力信号は、I ポート出力しか検出しておらず位相の進み、遅れの方向が不明なこと及び入力 RF レベル変動が位相変動として検出されるため、今回の位相測定では I, Q 出力ポートの電圧を直接オシロスコープに入力し、位相差を求めた。

## 4 位相変動測定系

今回の測定では 1) 温度特性の良い SF ケーブル (2 PPM/°C) を使用しているリファレンスラインの位相変動はどの程度あるのか、2) ドライブラインの位相変動が周囲温度に対してどの程度あるのか、3) ドライブラインの位相変動は周囲温度以外の変動要因がないか、この三点を調査することを目的として測定系の構築を行った。

図 3 にドライブライン並びにリファレンスラインの位相

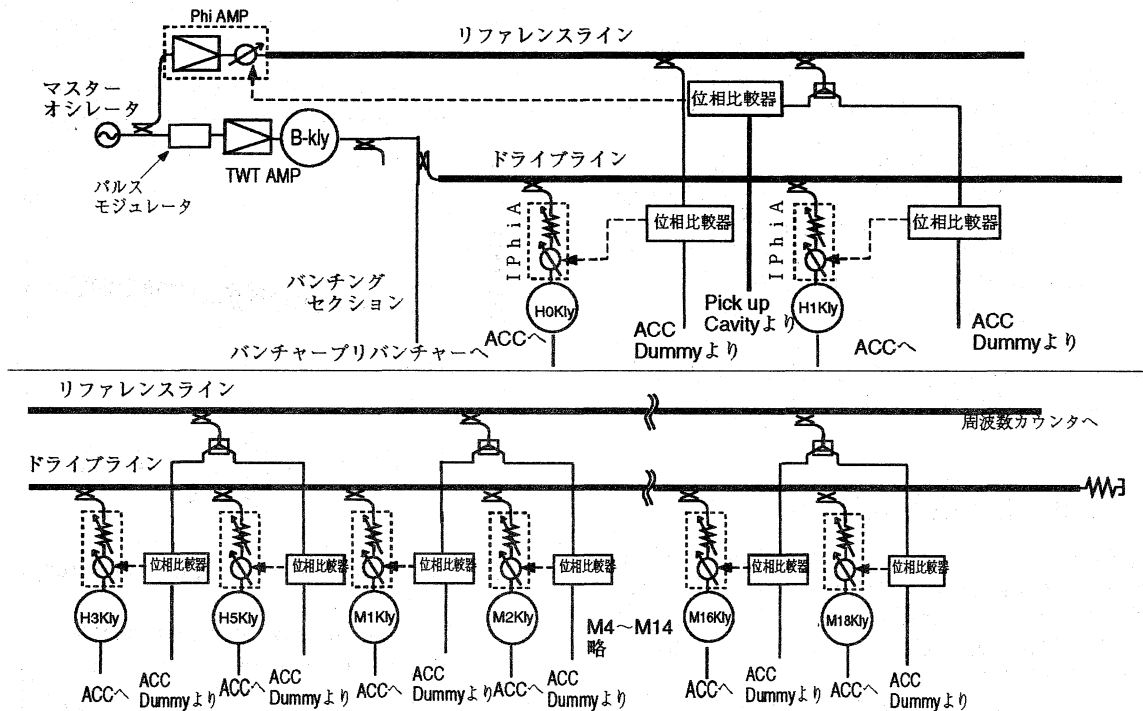


図 1: R F 励振系の構成

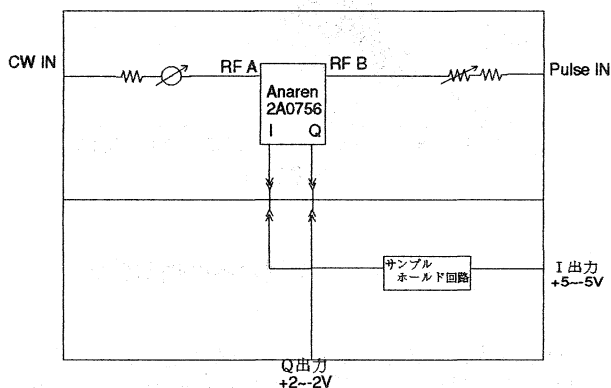


図 2: 位相比較器ブロック図

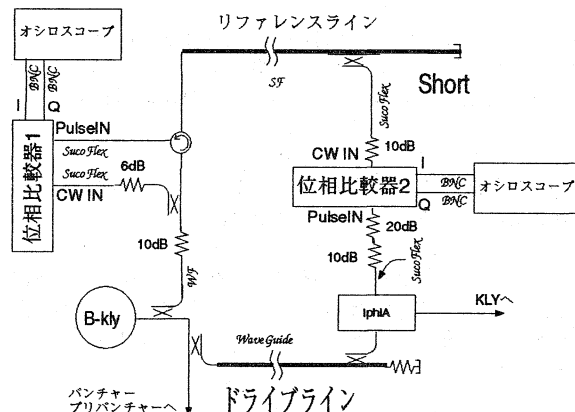


図 3: 位相変動測定のプロック図

変動測定時における各RFコンポーネントのブロック図を示す。なお周囲温度変化と位相変化との相関を調査するため、線型加速器棟クライストロン室内の4個所に温度センサーを設置した。

リファレンスラインの位相変動測定では、基準信号にプースタークライストロン出力のRF信号を用い、この信号がリファレンスライン終端で全反射され戻って来たRF信号とを比較するシステム構成を行った。

ドライブラインの位相変動測定では、基準信号にリファレンスライン終端に設置されている方向性結合器から得られるRF信号を用い、被測定信号にはドライブラインの導波管終端部のベテホール型方向性結合器、IΦAユニットを介し得られるRF信号を用いた。

## 5 校正

温度による位相変動の主要原因は、異なるケーブル長の温度による伸縮量の相違である。そこで被測定経路(リファレンスラインとドライブライン)を取り除いた測定系を構築し、周囲温度との相関及び依存性が低くなるよう以下の調整を行った。

リファレンスラインの測定系では、リファレンスライン終端に取り付けたショート端を前段に変更し、電力レベル調整用の固定減衰器(20dB)を外付けで被測定信号側に取り付けた。この構成で温度との相関及び依存性が低くなるよう基準信号入力側の位相器の調整を行った。

ドライブラインの測定系では、リファレンスライン側と

は異なり、RFコンポーネントでの減衰量が少ないため、別に準備した低レベルのオシレータ及びパルス変調器からの出力を2分岐して位相比較器2に同位相でRF信号を入力し、上述と同様の調整を行った。

以上のシステム構成で温度校正を行った結果、リファレンスライン、ドライブライン共±0.4 deg程度の変動値データが得られ、システムの分解能は約1.0 degと評価した。1次関数でフィッティングした結果、リファレンスライン側は相関係数が0.04、傾きが0.006、ドライブライン側は相関係数が0.29、傾きが0.12と算出された。リファレンスライン側と比較し、ドライブライン側に周囲温度との若干の相関が認められる結果が得られたが、今回の位相変動測定には特に影響は生じないと判断した。

## 6 位相変動測定結果

周囲温度変動、リファレンスラインの位相変動及びドライブラインの位相変動を同時に計測するため、2台のペンレコーダとオシロスコープを各々GPIB経由でDOS計算機(HPVE)に取り込み、15秒に1回5000ポイントのデータ収集を行った。

リファレンスラインの位相変動データはSFケーブル往復分に相当するため2倍の値として、また位相変位の進み、遅れ方向は終端部でショートしているため、復路分は180 deg位相反転し検出される。I, Q出力ポートの測定値を $V_{IR}$ ,  $V_{QR}$ とすると位相値 $\Phi_R$ は、

$$\Phi_R = -0.5 (\tan^{-1} V_{QR} / V_{IR})$$

となり、その計算結果と4個所に設置した室温データ(平均値)との相関を図4に示す。相関係数は0.78と計算され、平均気温が1℃変化した場合の位相変動量は0.57 deg生じるデータが得られた。

ドライブラインの位相変動データはリファレンスラインの位相変動量により補正をかけた求める。I, Q出力ポートの測定値を $V_{ID}$ ,  $V_{QD}$ とすると位相値 $\Phi_D$ は、

$$\Phi_D = (\tan^{-1} V_{QD} / V_{ID}) + \Phi_R$$

となり、その計算結果と室温データ(平均値)との相関を図5に示す。相関係数は0.94と計算され、平均気温が1℃変化した場合、位相は6.44 deg変化するデータが得られた。

## 7 考察

今回、リファレンスラインとドライブラインの長時間(約1日)の位相変動測定を行った。

リファレンスラインについては、SFケーブル長、電気温度係数及び基本周波数の1 deg当たりの電気長より求められる0.68 deg/℃の設計値は、今回実測した0.57 deg/℃と非常に良く合致しており、今回の測定が精度良く行われ、又設計値通りのスペックを満足していることを確認した。

ドライブラインについては、1) 設計値で11.2 deg/℃(銅の線膨張率×導波管長)と算出されているが、今回の測定では6.44 deg/℃と実測された。この相違は、導波管を組み立てる際に寸法調整を行うために用いるペロー管が、温度変化による導波管長の伸縮を補償しているためと考えている。2) 周囲温度との相関係数が0.94との値から、周囲温度の変化によるものが支配的であり、導波管内の放電による急激な位相変化等の外乱要因は生じていない結果が得られた。

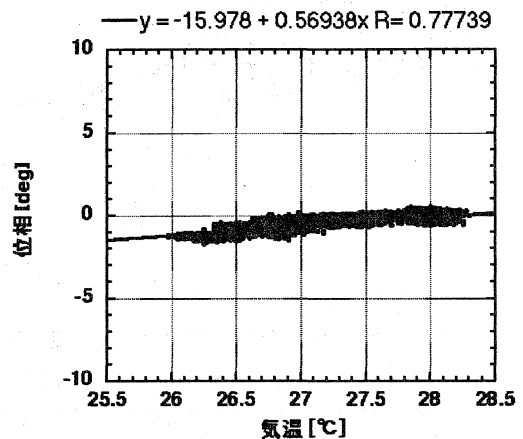


図4: リファレンスライン位相の温度相関グラフ

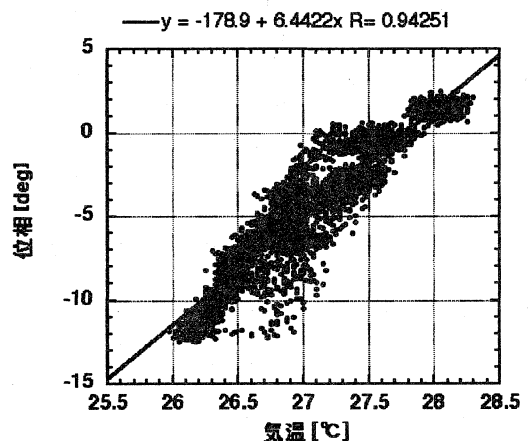


図5: ドライブライン位相の温度相関グラフ

今回は時間の制約もあり、計4回の測定しか行えずデータの再現性に関してはまだまだ改善の余地がある。今後より精度の高い校正方法を確立し、最終目標である自動位相フィードバックシステムを構築する予定である。

## 8 REFERENCES

- [1] S.Suzuki et al., "RF system of SPring-8 Linac", Proceedings of The 10th Symp. on Accel. Scie. and Tech., 1995, p73-75.
- [2] T.Hori et al., "The RF Driver System of 80MW Klystron for SPring-8 Injector Linac", Proceedings of The 21th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1996, p29-31.