

[P 1 - 3]

High Power RF Processing of S-band Accelerator Unit for SPring-8 Linac

T.Asaka, H.Yoshikawa, S.Suzuki, K.Yanagida, A.Mizuno, H.Sakaki, Y.Ito, S.Hukusima, T.Kobayashi, T.Hori,
T.Taniuchi, A.Kuba, H.Akimoto, M.Yamazaki, S.Nagasawa, T.Onishi, K.Mashiko and H.Yokomizo

JASRI - JAERI - RIKEN SPring-8 Project Team
SPring-8, Kamigori, Hyogo 678-12, Japan

Abstract

The RF conditioning of the accelerating structures in linac for SPring-8 have adopted automatic control system. The system have based on the VME computers. This system controls the output voltage of the modulators by means of observing the vacuum condition at several locations. RF conditioning was started with pulse width of 0.5μsec and repetition rate of 10pps. RF parameter of linac requires output power of 80MW, pulse width of 4.0μsec and repetition rate of 60pps. It takes only 250 hour to achieve goal parameter. In this paper, we describe the process of high power RF processing.

SPring-8 線型加速器 S バンド加速ユニットの大電力 RF プロセッシング

1. はじめに

SPring-8 の電子・陽電子線型加速器では 1996 年 10 月のシンクロトロンへのビーム入射に向けて各 RF 装置、電磁石、ビーム診断装置、制御系などの調整を行っている。本施設において 1GeV 以上のビームエネルギーを達成するため、S バンドの 3m 長定勾配型進行波管を 26 台使用している。加速セクションは 1 台の 80MW クライストロンに対して 2 本の加速管を 1 ユニットとして構成されている。加速管 1 本あたりに供給される最大 RF 電力は 40MW となり、20MV/m の加速勾配を発生する。また 1 台のブースタークライストロンによる励振システムと最大 1.0μsec の電子ビームパルス幅での運転条件から 4.0μsec パルス幅の入力 RF 電力が必要となる。本施設では 8 月 1 日から行われる電子ビーム加速試験に先立ち全系 RF エージングを行った。本稿では励振システムと加速ユニットからなる装置構成及び約 1 カ月にわたり行われた RF エージングの状況について述べる。

2. システム構成

図 1-1 に RF 励振系及び真空系について示す。RF 励振系はマスターオシレーターから出力される 2856MHz の信号を 60pps、4.0μsec のパルス変調をかけた後、300W 出力可能な TWT アンプによりブースタークライストロンの最適入力電力まで増幅されて、パンチングシステム及び全系の高周波源として用いているクライストロン励振のための主ドライブラインの両方に供給される。主ドライブラインには約 80m にわたり 1MW の RF 電力が伝送され、各分岐点に設置された方向性結合器から 1kW の RF 電力が移相減衰器を介し

て各クライストロンへ供給される。初段加速管及び陽電子生成部 (H0、M1) を除く 24 本の加速管 (H1 ~ H6、M2~M19) においては 80MW クライストロン (東芝製 E3712) 1 台に対して 2 本の加速管に RF 電力を供給するため、1 本の加速管での加速勾配は 20MV/m 発生することとなる。

真空系においては管内の大気開放を避けるため、クライストロンからの 2 つの出力ポートと導波管の接続部分においてはそれぞれ直列に RF 窓を設けている。このため RF 窓に挟まれた区間の真空を保つために 20ℓ/sec イオンポンプ (IP1) が設置されている。さらに加速管までの導波管中間点に 50ℓ/sec イオンポンプ (IP2)、各加速管の入口に 100ℓ/sec イオンポンプ (IP3、IP4) が設置されている。加速管と導波管の真空度は各 IP の電流値及びコールドカソードゲージ (CCG) によりモニターし、真空度が 1.0×10^{-7} torr で変調器電源の高圧が停止するよう設定されている。真空度の急激な悪化に対して加速管、導波管、RF 窓などの真空機器保護のために、インターロック動作速度は 20msec 以内で停止するものである。

3. RF エージング

RF エージングの初期過程としてパルス幅を 0.5μsec、繰り返し周波数を 10pps として 80MW の RF 電力供給を行う。次に RF パルス幅と繰り返し周波数に関して段階を経て 2.0μsec、30pps にまで上げていき同様のプロセスを行う。最終過程としては繰り返し周波数を 60pps とし、2.0μsec、4.0μsec の RF パルス幅において順次エージングを行うことで完了させる。

供給電力の調整は本施設の制御計算機として採用し

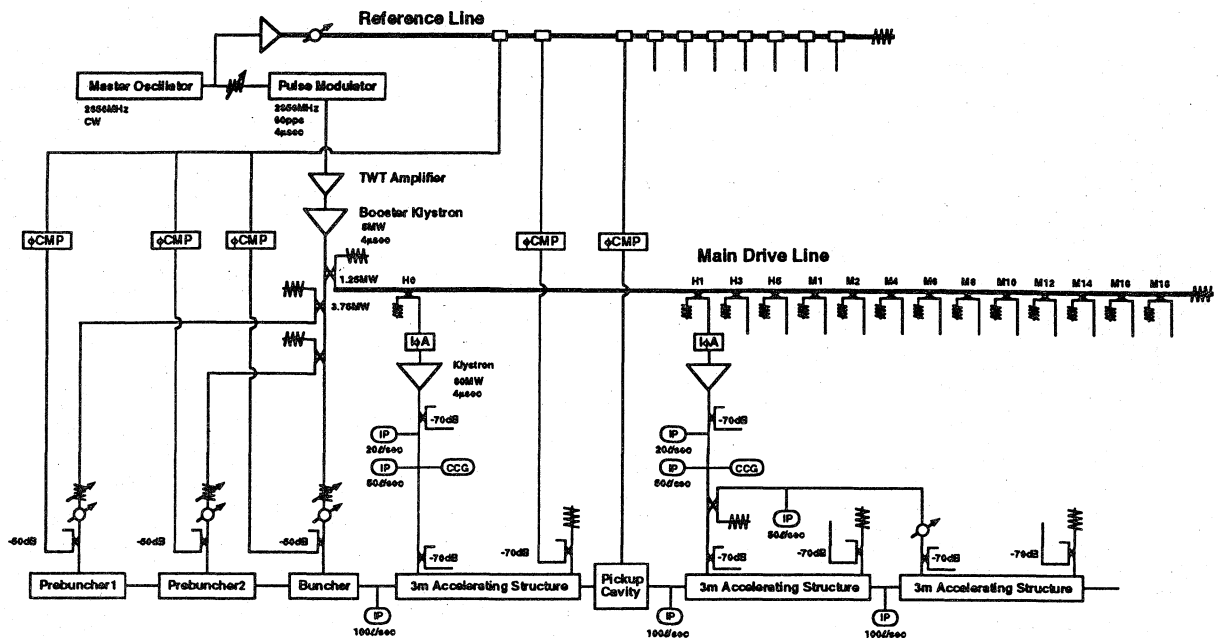


図 1-1 RF 及び真空システム

たVME規格のボードを使用し、ワークステーションによる遠隔操作を可能とした。調整機構としてはユニットに配置されている各IPの真空度の悪化に応じてクライストロン電源電圧の制御により行うものである。真空度の悪化は入力電力の増加に伴うものや突発的なものなど様々なパターンがあるため、それぞれに適した電力供給の調整を行う必要がある。このためある入力電力増加率に応じた真空度の時間変化を計算し、この変化率がある決められたしきい値に対して上下それぞれの場合にクライストロン電源電圧の上昇率に変化を与えるものとした。真空度の時間変化に対するしきい値及びクライストロン電源電圧の上昇率の設定は全系RFエージングに向けて試験的に行われたM10セクションでの試験結果により最適化されたものである。

RFエージング開始時の全系にわたる真空度は図3-1に示すような経過で $1.0 \times 10^{-8} \sim 1.6 \times 10^{-9}$ torrの高真空まで到達した。このためパルス変調器電源のインターロックを 1.0×10^{-7} torrに設定した。初期過程の運転において10時間にわたりクライストロン出口の4つのRF窓で突発的な真空悪化による電力供給停止が10分に1度の割合で起こり始めたが引き続きRFエージングを行った結果、開始から40時間にしてインターロックによる運転停止は起こらなくなり連続的なRF電力供給による効率の良いエージングが行える状態になった。それから50~80時間を費やして到達電力である80MW投入可能な状態となった。このエージングの様子を図3-2、図3-3に示す。次の段階である $1.0\mu\text{sec}$ 、 $1.5\mu\text{sec}$ 、 $2.0\mu\text{sec}$ のパルス幅及び30pps、60ppsでの運転ではそれぞれ1

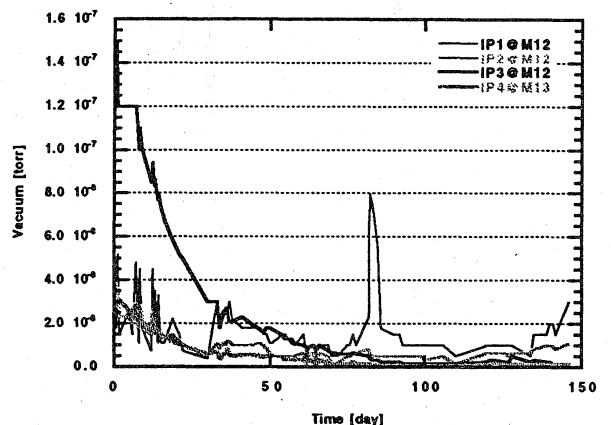


図3-1 運転開始時までの真空度の経過

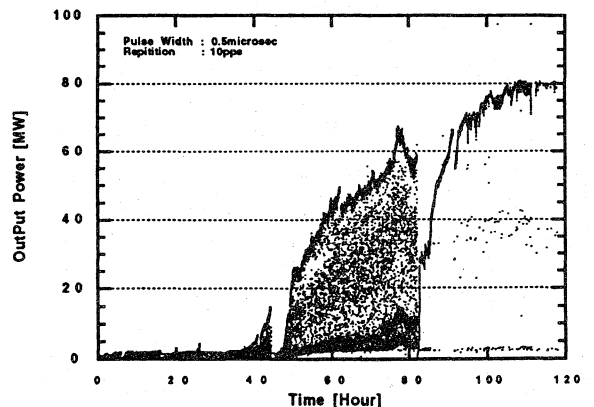


図3-2 M6ユニットにおける入力RF電力の時間変化

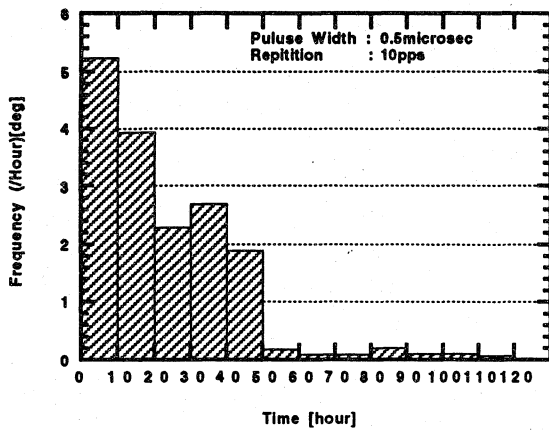


図3-3 M6ユニットにおける入力RF電力の時間変化に対するインターロック動作頻度

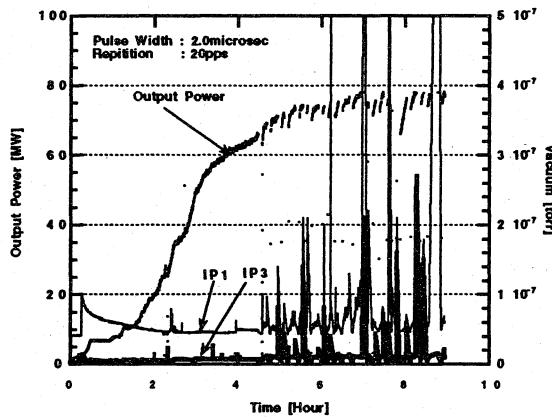


図3-4 M6ユニットにおける真空度の変化

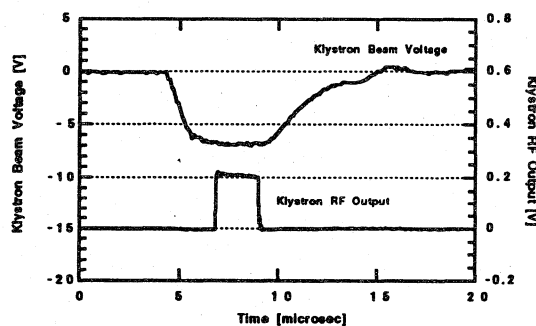


図3-5 (a) 80MW クライストロンビーム電圧及びRF出力波形

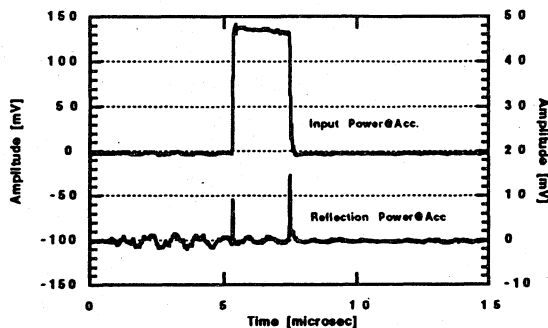


図3-5 (b) 3m 加速管入射波及び反射波

0時間以内で完了し、最終過程である4.0 μ secのパルス幅、60ppsの運転においても60時間以内に到達電力まで達成している。図3-4にはこのときの真空度の時間変化の様子を示し、図3-5に定格電力である(60MW)入力時のCディバイダーから得られるクライストロンビーム電圧、クライストロン出口のRF検波出力波形を示す。

4. 考察

今回行われたRFエージング結果から繰り返し周波数の増加よりパルス幅の増加に対して所要時間を有することが分かった。特に開始時においては図3-1、3-2に示したように約90時間の間で急激な放電現象が頻発した。最初の40時間の20MW以下の低電力領域ではクライストロン出口の4つのRF窓における真空悪化であり、アルミナ表面での吸着ガスによるものと重なってマルチパクターリングが起こっているものと考えられる。このため20MW以下の低電力領域での十分なエージングは必要不可欠であるといえる。またこれと同時にIP1とIP2においてノイズ的な真空度の悪化が起こり、効率良くエージングが進まない状況が生じた。IP及びCCGの真空度の履歴と入力RF電力との相関関係、さらにホーンアンテナとスペクトラムアナライザを用いたIP周辺のRF測定結果から導波管からIP引口への2856MHzの第2高調波の進入によるIP内電極における放電が原因であることが分かった。このためIPの印加電圧を下げることで抑制したが、後にIP引口に4mmの厚さのメッシュ構造を有するRF進入防止用ガスケットを装着することで改善した。

加速管内の真空悪化は最初の運転条件であるパルス幅0.5 μ sec、繰り返し周波数10ppsではほとんど起こらず、パルス幅を1.0 μ sec以上で発生している。しかしながら第2、第3段階の運転条件下では総計して正味120時間という短時間で到達電力まで達成している。これは突発的な真空悪化を抑制するために行った真空度の時間変化に対する入力RF電力の制御が効果的だったといえる。

5. まとめ

本施設の全系RFエージングは計算機による制御を行うことで繰り返しが60pps、パルス幅が4.0 μ sec、加速勾配が20MV/mという運転条件を約20日で完了した。今後、再立ち上げに際してエージング時間短縮に有用性をもつRF進入防止用ガスケットを全系統に装着する予定である。

6. 参考文献

- [1] H. Sakaki et al., "Automatic RF Aging System in SPring-8 Linac", Proc. of this meeting.
- [2] T. Hori et al., "The RF Driver System of 80MW Klystron for SPring-8 Injector Linac", Proc. of this meeting.