

[30p - 2]

## THE RF DRIVER SYSTEM OF 80MW KLYSTRON FOR SPring-8 LINAC

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

JASRI-JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team

Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo-ken, 678-12

### Abstract

SPring-8 injector linac has been completed and successfully established the first beam generation on August 1. Before the beam commissioning starts, all the RF component of aging will have to finish efficiently. The 2856MHz CW output of master oscillator is divided into two signal line. One is provided for the booster klystron through a pulse modulator and a 300W TWT amp.. The other provides for the reference line to the phase measurement system. The output RF power of the booster klystron is fed into the injector line. Drive line is divided a 6dB directional coupler from Injector line. Main drive line is composed of DRA, bete hole coupler, rectangular waveguide, dummy load. Branch drive line is composed of I Φ A unit, WF-H-50 coaxial cable. In this paper, we present the performance test of driver system of 80MW Klystron in SPring-8 injector linac

## SPring-8 リニアックのRF励振系

### 1 はじめに

SPring-8リニアックでは本年8月1日に第1加速管までの初ビーム加速を行い、8月8日には最終ビームダンプへのビーム輸送に成功した<sup>(1)</sup>。我々は初ビーム加速に先立ち、6月から約1ヶ月間RFコンポーネントのマイクロ波エージングを行い、4 μS, 60 p p S, 約30 MWのRF電力を加速管内に供給することが可能になった<sup>(2)</sup>。この報告では、E3712型主クライストロン(TOSHIBA)13本をドライブするためのRF励振系の機器構成、性能試験結果、レベル調整時に得られた知見などについて報告を行う。

### 2 RF励振系の機器構成

図1にSPring-8リニアックのRFシステム構成図を示す<sup>(3)</sup>。2.856GHz CW発振器(HP8671B, +5dBm)から出力されたRFは分配器によりReference LineとDrive Lineに分岐される。Reference Lineとは、ビームが加速管並びにピックアップキャビティー内を通過した際に励起するRF信号を基に加速管の最適位相を自動的に調整するシステムである。本報告は励振系に限定し述べるため、以下省略する。さて、Pulse Modulatorでパルス変調されたRFはTWTアンプ(LogiMetrics, A500/S)で5

0 Wまで増幅された後、プースタークライストロン(MELCOPV2012)で最大7 MWまで増幅される。このクライストロンはバンチング系と励振系のRFソースで、クライストロン出口の6 dB方向性結合器でバンチング系に4 MW、励振系に1 MW以上のRF電力が供給できる。RF励振系は主ドライブラインと分岐ドライブラインに大別される。クライストロンギャラリーに約80 mにわたり敷設されている主ドライブラインは最大減衰量15 dBの可変減衰器(DRA)、27.5もしくは25.5 dBの結合度をもつベータホール方向性結合器(14式)、矩型導波管、終端器などから構成されており、窒素ガスで加圧されている。ベータホール方向性結合器から位相量と減衰量を調整するためのI Φ Aユニットを介し主クライストロン入力までが分岐ドライブラインである。I Φ Aユニットは位相量420°、最大減衰量40 dB、全挿入損失2.98 dB以下の性能を有し、5相のステップモーターで駆動される。環境温度変化による位相のずれを低減するため、負の温度特性を持ったサーキュレーターを用いることでI Φ Aユニット単体で0.16°/℃の温度安定度を確保した。このラインのRF伝送には減衰特性に優れたWF-H-50同軸ケーブル(三菱電線)を採用した<sup>(4)</sup>。

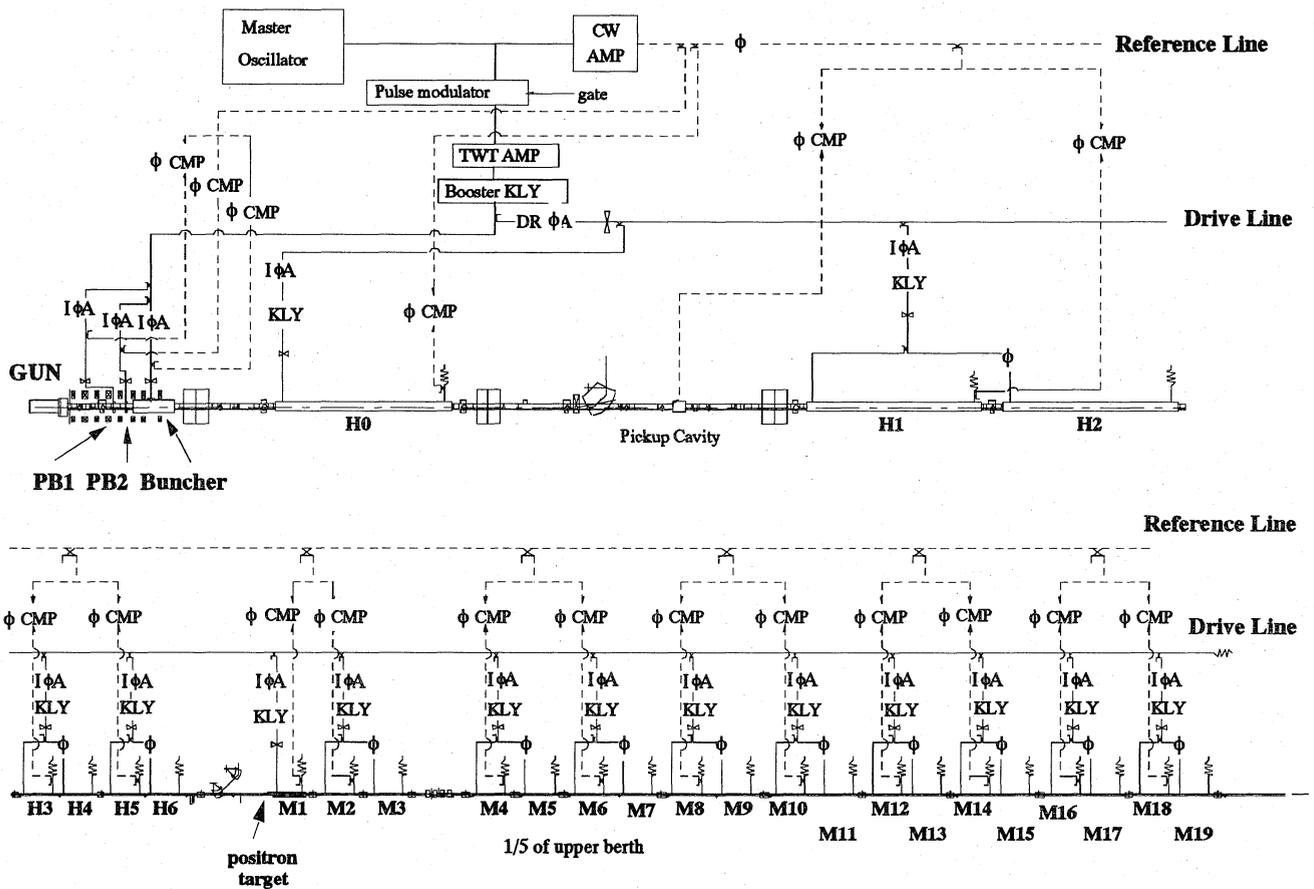


図1: S P r i n g - 8 リニアックのRFシステム構成図

### 3 RF励振系の性能試験結果

ビームコミッショニング前の限られた時間内ではあったが、全系のRFエージングを行うために必要なレベル調整や安定度試験を行い、以下の結果を得た。

1. 主クライストロン全数の励振RF電力レベル調整  
主ドライブライン導波管のガス漏れによる管内放電並びに、WF同軸ケーブル長に依存するRF電力の減衰が大きすぎ調整当初は規定のRF電力がクライストロンに供給できない状態であった。特にWFケーブルの電力損失はカタログ値より2倍程度大きい。この原因について我々は、ケーブルコネクタ部製作時の性能のバラツキによって電力損失が大きく異なると判断している。ガス漏れ対策やWF同軸ケーブルを最短距離で再配線を行った結果、余裕を持った電力レベル調整が可能になった。

### 2. 励振RF波形のパルス特性測定

H1セクションで得られた代表的な励振RF電力(パルス幅:  $5 \mu\text{S}$ 、励振RF電力:  $355\text{W}$ )の検波波形を図2に示す。パルスの立ち上がり時間はPulse Modulatorのピンダイオード(S213D-04)のスイッチング時間で制限されており、約 $50\text{ns}$ であった。パルスの平坦度は $\pm 0.5\%$ 以下の特性が得られた。この値はプースターモジュレーターの出力電圧パルス平坦度で決定されるが、PFNコンデンサーに $0.15 \mu\text{H}$ の低残留インダクタンスの碍管型コンデンサーを採用することでこのスペックを達成した。

### 3. 環境温度変化に対する励振RF電力の安定度試験

RF励振系はクライストロンギャラリを約 $80\text{m}$ にわたり設置されている。このギャラリ内の空調は空間的に広がった4カ所に設置されている温度センサー信号を基に $26^\circ\text{C}$ 一定に保たれるよう設計されている。そこで、空調ダクトの吸排気

口近くに設置されているIΦAユニットにピークパワーメーターを設置し、3日間にわたる環境温度変化に対する安定度試験を行った。結果、環境温度が22~25℃と変化したのに対し変動率は±1%以下のデータを得、クライストロン入出力特性の飽和領域内で使用可能なことを確認した。

ク内に設置する際に生じるフォーカスコイルとの相対位置変化等がその主原因ではないかと考えている。励振電力レベルは一度設定するとあまり再調整することがないため、クライストロン取り替え時も含めてクライストロンを新しく組み込む際には、注意が必要ながわかった。

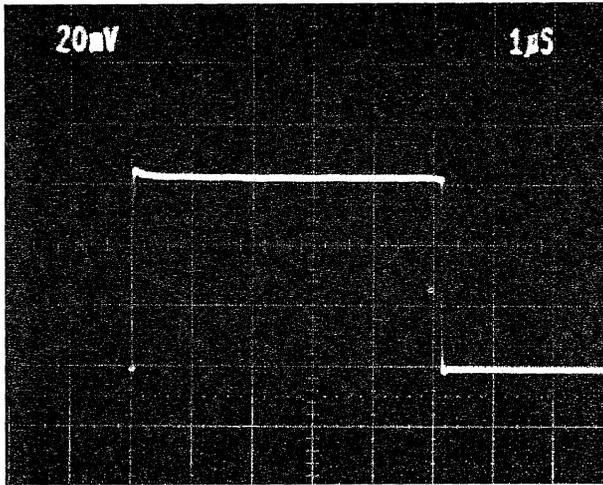


図2: 代表的な励振RF電力の検波波形  
(パルス幅: 5 μ S、励振RF電力: 3 5 5 W)

#### 4 検 討

表1にSPring-8に納入されたE3712クライストロン13本の工場出荷時に測定された主なデータを示す。EPYは80MW出力に必要なクライストロンビーム電圧、Pdはこの電圧での最適な励振電力、ηは効率を表す。80MW出力電力を得るためのビーム電圧は約400kVであるのに対してクライストロン空洞の製作誤差によるためか、励振電力は240~480Wと個々のクライストロンによって大きく異なる。我々はRFエージングを開始する際、WFケーブル先端にピークパワーメーターを取り付け、この値が工場出荷時データと等しくなるよう電力レベル調整を行った。しかし、RFエージング進行中にクライストロン出力電力の検波波形をモニターしながら出力信号最大、波形成形をも考慮したRFレベルの再調整を行った結果、全数のクライストロンで最適な励振RF電力は工場出荷時データと大きく異なる結果となった。この原因に関して1) 励振電力測定時における測定系の相違、2) 現場でクライストロンをクライストロンタン

表1: E3712 クライストロンの主なデータ

Section	Serial No.	EPY(KV)	Pd(W)	η (%)
H 0	95H008SP8	399.8	326	41.8
H 1	95L012SP8	400.0	355	41.6
H 3	95K011SP8	395.0	245	43.4
H 5	95J009SP8	395.0	252	43.5
M 2	95K010SP8	391.0	271	43.8
M 4	95H007SP8	399.8	326	40.6
M 6	95M013SP8	400.0	388	41.7
M 8	95F006SP8	390.6	284	43.8
M10	95E005SP8	390.0	305	42.9
M12	96C015SP8	395.0	298	42.3
M14	95D004SP8	390.0	369	42.8
M16	94H001SP8	395.0	423	43.2
M18	96D016SP8	395.0	477	42.3

#### 5 謝 辞

RF励振系を設計、製作するにあたり三菱電機・通信機製作所の中村直樹氏、隈昭一郎氏、並びに坂元学氏をはじめとする通信プラント建設部の方々に協力を頂きました。又、クライストロンのデータについては東芝・那須電子管工場の米沢宏氏並びに新エネルギー技術開発部の大西嘉道氏の協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 6 参考文献

- [1] H.Yoshikawa et al., "FUTURE ACTIVITY PLAN OF SPring-8 LINAC", Proc. of this meeting.
- [2] H.Sakaki et al., "AUTOMATIC RF AGING SYSTEM IN SPring-8 LINAC", Proc. of this meeting.
- [3] S.Suzuki et al., "Construction of SPring-8 Linac", Proc. of Fourth European Particle Accelerator Conference, 1994, Vol 1, p733-735
- [4] S.Suzuki et al., "RF system of SPring-8 Linac", Proc. of The 10th Symp. on Accel. Sci. and Tech., 1995, p73-75