

## AUTOMATIC RF AGING SYSTEM IN SPring-8 LINAC

H.Sakaki, T.Hori, H.Yoshikawa, T.Asaka, S.Fukushima, H.Akimoto, T.Kobayashi, Y.Itoh, A.Kuba, A.Mizuno, S.Suzuki, K.Yanagida, T.Taniuchi and H.Yokomizo  
SPring-8 Project Team, Kamigori, Ako-gun, Hyogo, 678-12

### Abstract

Before the beam commissioning starts, all the RF system of aging will have to finish efficiently. We have designed and constructed the SPring-8 LINAC control system, and we are trying to begin the automatic control of aging. This system is based on VME computers with OS-9. We shall try to realize aging times of under 500 hours using this system. We report the system and performances.

## SPring-8 LINAC RF 系自動エージングシステム

### 1 はじめに

高周波加速を行う加速器において、機器設置終了から、ビームコミッショニング開始までの立ち上がり時間は、RF系のエージング時間に依存されると言うて良い。特に大電力を伝送する系においては、放電による機器破損を防ぎながら慎重にエージングを行わなければならない、立ち上がり時間が長くなることが予想できる。今回、我々のSPring-8線型加速器では、平成8年8月からのビームコミッショニングに向けて、大電力RF系（～80MW、～60pps、～4  $\mu$  sec）のエージングを、エージング開始時から完全に自動化し、立ち上がり時間の短縮、効率化を目指すとともに、自動化によって様々な定量的なデータを得ることを試みた。本発表では、我々が行った自動RFエージング手法と、それらによって得られたデータを報告する。

### 2 RF系自動エージングシステム概要

#### 2.1 SPring-8 LINACの制御系

SPring-8線型加速器は、2階層の制御系になっている。下位層では、加速器構成機器とのデータI/OにVMEを採用し、上位層では、MMIFとしてEWSが置かれる。VME上のソフトウェアは、1つ1つがそれぞれの機器に対応したプロセスであり、VMEに接続された機器の数だけ、接続機器に対応するプロセスが走っており、実際の機器と同じイメージで動いている。EWSはVME上の各プロセスからデータをSCD (SPring-8 LINAC Control Datagram) と、SCC (SPring-8 LINAC Control Command) と呼ばれる独自のデータプロトコルで送受信する。EWSは、VME上で管理されているプロセスのデータをグラフィカルにモニタしているのみで、完全に切り離すこともできる。VME上の機器は、オブジェクト指向で構成されており、実際の構成機器の変更にも柔軟に対応できるようになっている [1]。

#### 2.2 RF系エージングシステム構成

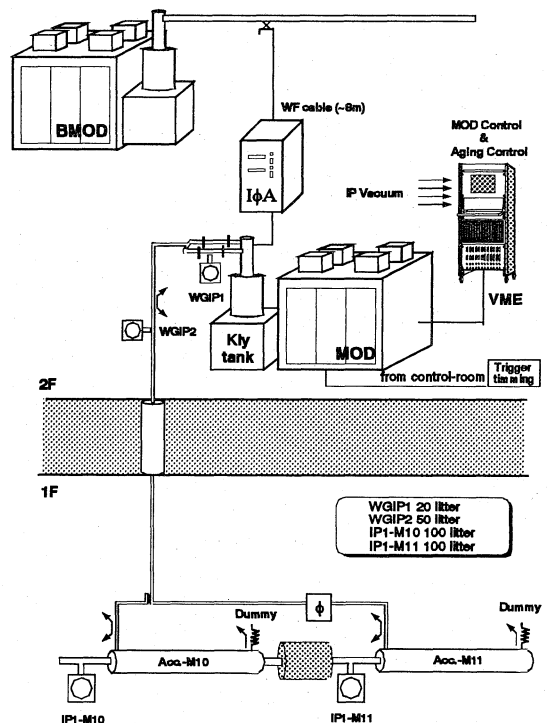


図1: 自動エージングシステム概略図

エージングシステムのハード構成を、図1に示す。立体回路系は、先行機大電力試験によって得られた知見から構成され、定格である80MW-60pps-4  $\mu$  secに耐えられることが実証されている [2]。また、制御系についても、モジュレータの先行機制御試験時にノイズ試験等を行いVMEを使用した遠隔において十分信頼性のあるコントロール可能であることを確認している [3]。次に、ソフトウェアの構成

を、図2に示す。自動エージングプロセスは、エージングと

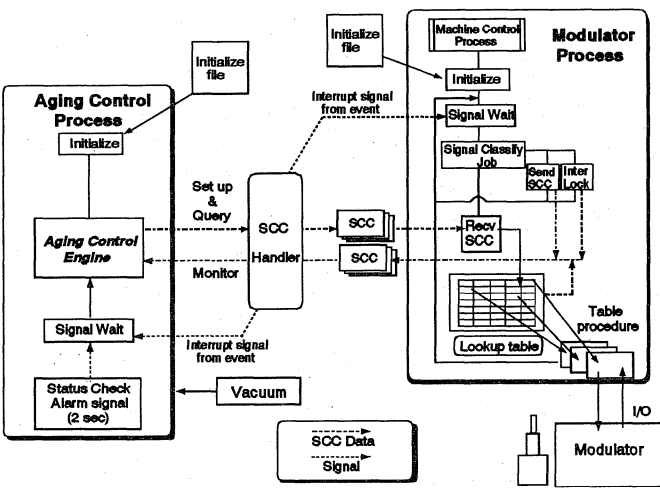


図2: 自動エージングソフトウェアの概略図

いう経験的かつ定性的な操作を、定量的な判断しか出来ないコンピュータを使用して行わなければならない。そこで、定性的判断を曖昧度を持たせたまま制御可能な「ファジロジック」を使用したエージングプロセスを構築し、検討してきた[4]。しかし、今回は、コンピュータによるエージングが初めてのこともあり、機器動作の安全性の確保、エージング処理の見通しの良さを考えて、PD制御によるエージングプロセスを採用することにした。

モジュレータを管理するプロセスは、実際に実機で使用される試験済みのプロセスを使用し、今回制作したエージングプロセスから、真空度を監視しながら、SCCを使ってコントロールする。エージングプロセスは、次のコンセプトで設計制作された。

- 高信頼性、効率化：
  - 大電力RF系のため、放電を繰り返すことなく、丁寧かつ高信頼性を持った自動プロセスでなければならない。これに反するが、可能な限りエージング時間を短縮し、ビームコミッションまでの立ち上がりを効率よく行わなければならない。
- Easy Operation：
  - RF系構成機器、エージング知識のない人であっても、簡単にオペレートできなければならない。

これらを主眼に置き、自動エージングアルゴリズムを確立するために我々は、SPring-8線型加速器棟に設置された実機のRF系を使って先行的に自動エージング試験を行った。

### 3 自動エージング・アルゴリズム

#### 3.1 アルゴリズム作成用先行機試験

先行試験はSPring-8線型加速器のM10セクションRF系を用いて行われた。SPring-8線型加速器のモジュレータは、電源投入時のPFN充電電圧初期値が、0kVからではなく、一気に20kVに設定されるため、定格の励振電力をクラ

イストロンに与えているとすれば、電源投入直後に~数MWのRF出力が得られることになる。当初、この初期値電力によってクライストロン出口のRFウインドの真空度が急激に悪化し、全く電力投入ができなかった。そこで、マニュアルで励振電力を徐々にあげ、初期値定格電力が投入されても、真空悪化でハードワイアのインタロック ( $1 \times 10^{-7}$  torr) がかからないようにした。その後、VMEを用いて試行錯誤しながら自動エージングアルゴリズムを確立した。

#### 3.2 アルゴリズム

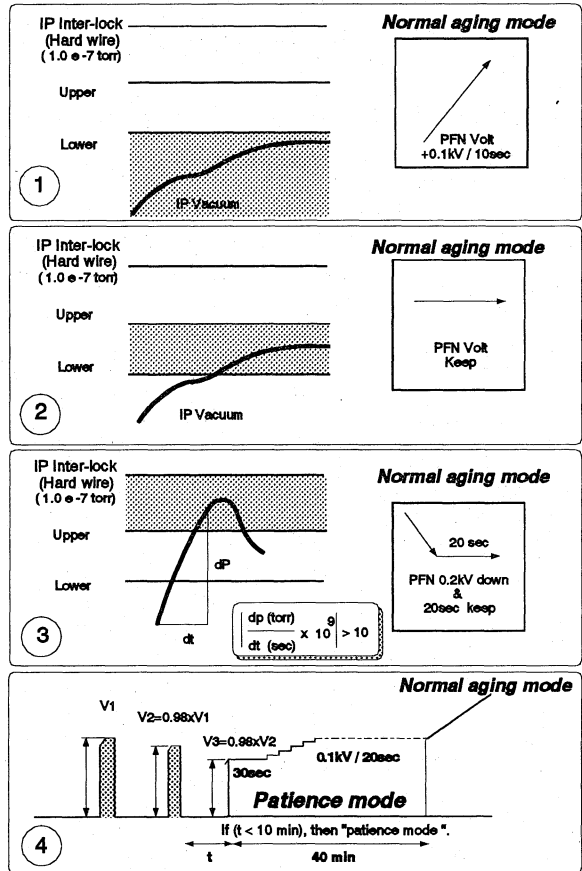


図3: 自動エージングアルゴリズム

自動エージングは各イオンポンプの真空度を2秒に一回チェックする事から始まる。概略は図3に示すとおりである。真空度データがソフトウェア上のLowerの閾値より良いとき(図中1)、10秒にPFN充電電圧を0.1kV上昇させる。真空度がLowerの閾値より悪く、Upperの閾値より良いとき(図中2)この間は、PFN充電電圧は変化させずに、真空度がLower閾値以下になるまで待つ。また、プロセスは、2秒前と現在の真空度の時間変化を監視しており、真空度の時間微分値を $10^9$ 倍したものの絶対値が10を越えるようであれば微少放電が始まったと判断し(図中3)、瞬時に0.2kV電圧を下げ、真空度が回復するまで電圧を一定にしたまま20秒待つ。真空度悪化によってモジュレータにインタロックがかかった際、真空度悪化で落ちた時点のPFN充電電圧

の98%まで急速にリカバリ(図中4)、上記のアルゴリズムで推論する。しかし、10分以内に2度真空度悪化インタロックがかかれば、その領域はアウトガスが多い領域と判断して、「忍耐モード」と呼ばれる一定電圧保持モードに入る。「忍耐モード」は40分間真空悪化が1度も起こらなければ解除される。真空度の上下限閾値は、一定に設定されることなく状況によってダイナミックに変動し、個体差による初期真空度の違いを吸収するようになっている(但し、ハードワイアインタロックのレベルを超えることはない)。これらのアルゴリズムは、MMIFから「自動エージング」を選択するだけでソフトウェアが実行する。

#### 4 全系RF自動エージング

先行試験で開発されたアルゴリズムを使用して、13台あるRF系をすべて同時に自動エージングした[5]。図4にM16セクションのエージング進行経緯を示す。65時間経過時まで投入電力が上がっていかないのは、ほとんどクライストロン出口RF窓(WGIP1-M16)での放電によるものである。このような傾向は全系に見られ、この領域を通過さえすれば後は、真空度の大きな変化もなく、大幅に電力を投入できる。コンピュータは、あくまで真空度から得られる状況

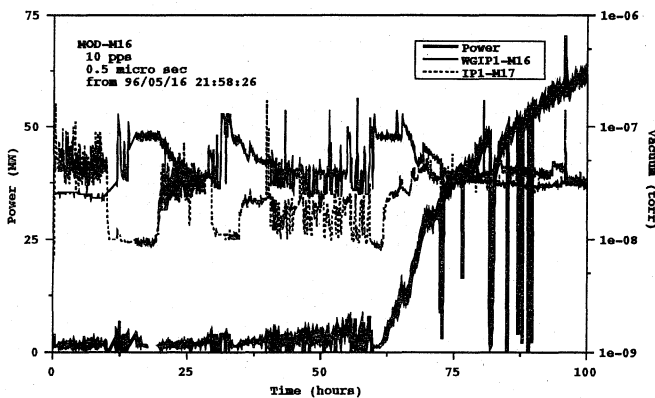


図4: エージングの経緯 (M16セクション)

判断で客観的にエージングを実行していくため、人間が行うエージングに比べ、様々な情報を得ることが出来る。図5は、横軸にクライストロンからの出力電力をとり、縦軸に真空度をとったものである。一般に人間は真空度を一定に保ちながらエージングを行う傾向にある。そのために、人間がエージングを行う際、このような図を描かせると、投入電力に対して、一定真空度に成る傾向がある。今回のアルゴリズムでは、真空度を一定に保つことはしていないために、この図が示すように、我々のRFシステムでの投入電力とアウトガスの関係がよくわかる。

#### 5 まとめ

自動エージングシステムは、ビームコミッショニングが始まるまでに1度使用してしまえば、以降使用頻度が極めて下がる。そのために発展性が少ないが、今回我々が設計

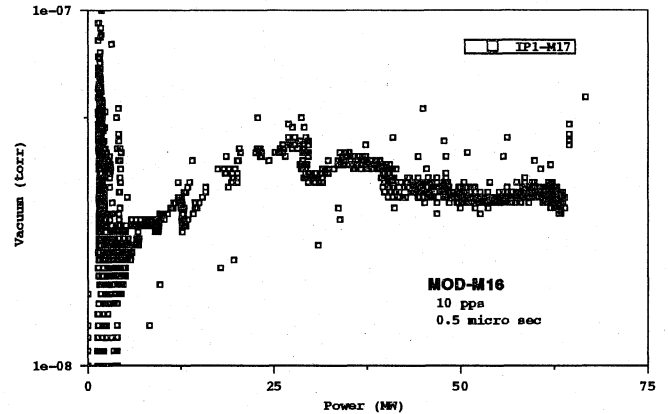


図5: 投入電力変化による真空度変移

製作したシステムは、定格までのトータルエージング時間を個体差がかなりあるものの、400~550時間とし、先行機大電力試験と比較して考えれば大変効率良いものになっていると思われる。また、今回得られたPD制御によるエージングの知見は、今後ファジーロジック、ジェネティックアルゴリズム等の高度な人工知能型制御プロセス開発に利用され、定性的な高速オペレーション、ビーム性能の高度化等を行う上で、大いに役立つものと思われる。

#### 6 謝辞

本自動エージングプロセスを製作するにあたって東芝の益子勝夫氏、並びに東芝電波特機・恵庭工場の方々に多大なる協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 7 REFERENCES

- [1] H.Sakaki et al., "DESIGN OF SPring-8 LINAC CONTROL SYSTEM USING OBJECT ORIENTED CONCEPT", Proceedings of PAC'95, in Texas USA (1995).
- [2] K.Satoh et al., "HIGH POWER TEST OF S-BAND WAVE GUIDE SYSTEM FOR THE SPring-8 INJECTOR LINAC", Proc. of THE 20TH LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, (1995), P263-265.
- [3] H.Sakaki et al., "Current Status of Control System for the SPring-8 LINAC", Annual Report of SPring-8, (1996).
- [4] H.Sakaki et al., "Conditioning of the SPring-8 Linac RF System Using Fuzzy Logic", Proc. of ICALEPCS'95, in Chicago USA, (1995).
- [5] T.Asaka et al., "High Power RF Processing of S-band Accelerator Unit of SPring-8 Linac", Proc. of this meeting.