

## AUTOMATIC HIGH POWER RF PROCESSING SYSTEM USING PLC

K. Onoe<sup>1</sup>, T. Inagaki, T. Shintake, K. Togawa;<sup>A)</sup>, T. Saeki, H. Matsumoto<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8/RIKEN

1-1-1Kouto, Mikazuki, Sayou, Hyogo, 679-5148

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1Oho, Tsukuba, 305-0801

### Abstract

We have developed the automatic control system using Programmable Logic Controller (PLC) for the high power RF processing, which is used for the C-band (5712-MHz) accelerating structure and the klystron in SPring-8 Compact SASE Source (SCSS) project. The PLC has been used in industry to have many advantages, such as reliable, compact, low-cost. In addition the PLC is recently able to communicate with the upper-layer controller through a network. We use this system for the klystron RF power test. In this paper, we will describe the configuration of the system and the detail of the high power RF processing.

## PLCを用いた自動RFエージングコントロールシステム

### 1. はじめに

SPring-8/RIKENにおいて、C-bandチョークモード型加速管の高電界試験を実施する<sup>[1]</sup> (図1参照)。新しい加速管は試験開始後すぐに高電界を印加することは難しい。加速管や導波管の真空度を常時高速に監視しながら、大きな放電が発生しないように状況に応じてクライストロンからのRF出力電力を増減させ、徐々に目標電界強度まで上昇させる必要がある。つまり、エージング過程は非常に長い時間を必要とする。労力の効率化とエージングに個人差が出ないように自動化することが望ましい。従来では上位の計算機による制御システムを構築し、そこか

ら各機器をコントロールする手法が一般的であるが、ここではシステムの軽量化を図るためプログラマブルロジックコントローラ(PLC)を用いてローカルに動作する自動RFエージングコントロールシステムを開発した(図2参照)。自動エージングといった、ある種インテリジェントが必要とされる制御にPLCは不向きであると言われていたが、近年PLCの能力が向上すると共に、低価格、良メンテナンス性、ユーザー層、信頼性など、PLCを使用するメリットは多い。

高電界試験に関する詳細は、本研究会の“C-bandチョークモード型加速管の高電界試験”<sup>[2]</sup>で発表されている。

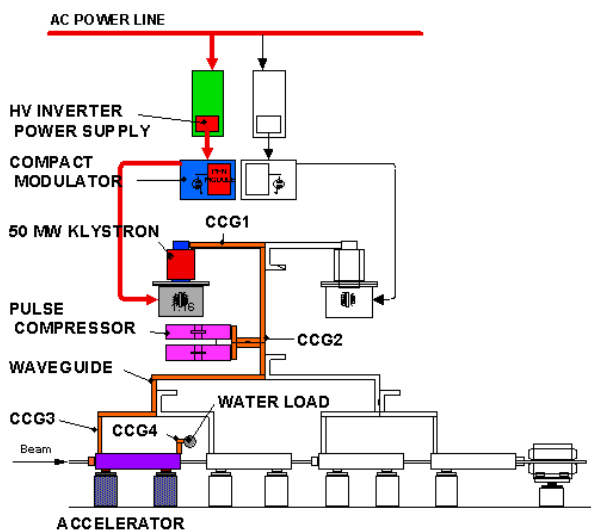


図1: C-bandチョークモード型加速管の高電界試験



図2: PLC&TP用筐体外観

<sup>1</sup> E-mail: onoe@spring8.or.jp

## 2. エージングの基本方法

自動エージングプログラムの基本動作は、CCGで高速度にシステムの真空度をモニターして、クライストロンの動作電圧を上げ下げしてRF出力電力を増減する方式である。自動エージングプログラムに性格を持たせる事、つまり負荷の状態に応じて慎重にしたり、大胆にしたりする事が効率を上げるためには必要である。これを実現する方法として、ここでは真空度を4段階に分けて、それらの幅をテーブルに設定することで自動エージングの性格付けを行った。

## 3. 制御機器構成及びハードウェア

コントロール、及びモニターが必要な制御機器を記す。

- ① インバーター電源：Set voltage, Analog monitor (voltage/current), HV-ON/OFF, Status
- ② モジュレーター：Analog monitor (反射短絡回路電流値), LV-ON/OFF, HV-ON/OFF, RF-ON/OFF, Error reset, Status
- ③ クライストロン：クライストロンカソード電圧 ( $V_k$ ), クライストロンビーム電流 ( $I_k$ )
- ④ 真空：Pressure (4点), Set point (4点)
- ⑤ インターロックモジュール：LV用 (8点), HV用 (16点), RF用 (8点)

制御点数と種類から、市販されている従来型のPLCのモジュールで対応可能であることが分かる。モジュレーターには横河製PLCが搭載されているのでPLC間接続は産業界に広く使用され、加速器でも実績のある<sup>[3]</sup>FL-netを用いることにした。FL-netはデファクトスタンダードであるEther-netを通信媒体とするマルチベンダ対応の高速なネットワークである。今回のコントロールには横河電機製PLC (FA-M3) を、操作部には現場作業に適したデジタル製タッチパネル(TP)を採用した。コンポーネント間の接続概略図を図3に示す。

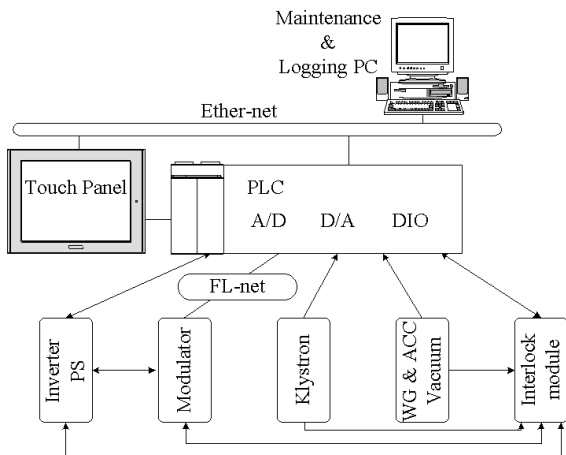


図3：コンポーネント間の接続概略図

19インチラックに効率良くインストールする為にユニット筐体を規格化し製作した。製作に際し、本システムだけでなく他のシステムでも採用されるように、メンテナンス性を考慮し、前面と背面の両側からアクセス可能でかつ、実装密度向上の為に横河製PLCを9幅縦2列搭載することが可能なデザインとした。図4参照。本研究会発表の“C-band加速管の精密温調システム”<sup>[4]</sup>においても同様のユニットが採用されている。

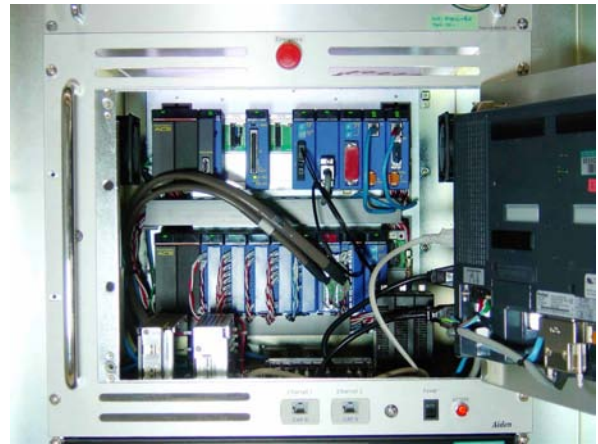


図4：PLC&TP用筐体内部

## 4. エージングシーケンス

エージングのフローチャートを図5に記す。

装置全体のインターロックが正常であることを確認する。モジュレーターのLVをONにするとクライストロンカソードヒーター等の予熱が始まり、1時間経過後にエージングスタンバイ状態となる。ここまでの動作は安全上の問題から自動化は行わない。インバーター電源の開始(Min)電圧と目標(Max)電圧についても、あらかじめ入力しておかなければならないようにした。表示部にフローチャートを設け、エージング中の動作状況が一目で判断できるようになっている。

高電界試験ではコールドカソード真空計(CCG)を4箇所を設置し、これらの真空度のセットポイントを用いて素早いインターロックシステムを構築している。エージング中インターロックで停止した場合は停止原因を判別し、CCGのセットポイントである場合はインターロックをリセットして再スタートできる機能を盛り込んだ。CCGのセットポイント以外の異常発生時は自動運転がアボートするようにしている。過去の実験結果<sup>[5]</sup>を参考に、CCGの真空値を4段階に区切った5つのエリア(ポジティブ2エリア、現状キープ、ネガティブ2エリアの計5エリア)に分けることにした。そのエリア毎にインバーター電源の電圧変化量と待機時間を個別に設定しておく。エリア、電圧変化量、及び待機時間はエージング中でも設定変更可能である。テーブル入力画面を図6に記す。

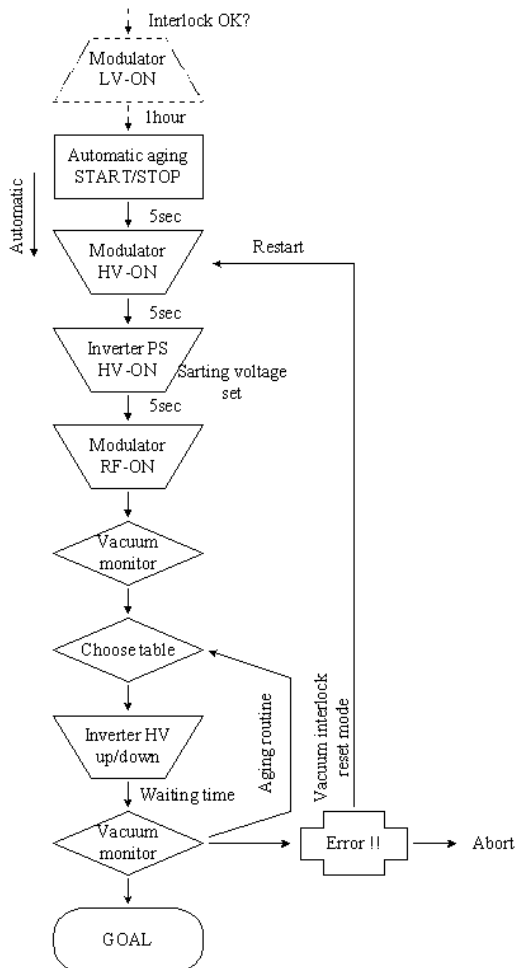


図5：エージングのフローチャート

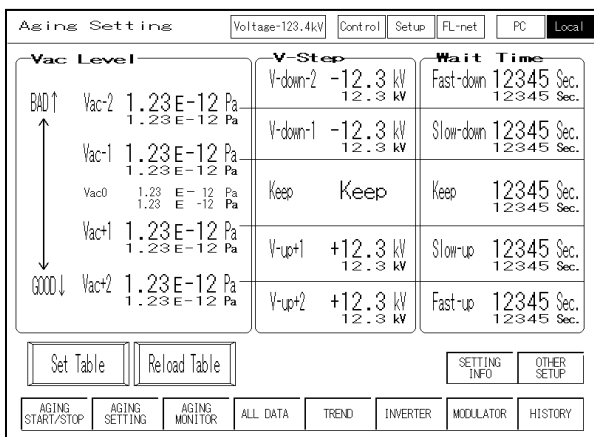


図6：テーブル入力画面

## 5. データロギング

エージング時は放電による真空度の悪化や、RFの定常状態とは異なる異常波形などのインターロックで頻りに停止することが予想される。インターロック停止原因と頻度を実験後に解析できるようにしておくことが重要である。PLCのメモリーカードモジュール（コンパクトフラッシュメモリー）を用い、真空度やインバーター電源の充電電圧などの運転情報はすべてデータロギングを5秒/回行う。それとは別に、データのバックアップの意味で、PCへEthernet経由でPLCのメモリーエリア上のデータを1秒/回周期で収集している。

## 6. まとめ

高電界試験の予備実験として、クライストロン単体での運転試験にて、本システムが正常に動作することを確認した。今後は実際に加速管の高電界試験を実施し動作を確認する予定である。その実験結果からC-bandチョークモード型加速管の特性を調査し、エージングのパラメーターを適正化したい。

今回のコントロールシステムの製作を通しての感想は、PLC間の接続で用いたFL-netはかなりの省配線化が見込めるということである。今後はインバーター電源などの他の機器もFL-netのような通信ネットワークを用いて省配線化することが望ましい。

また、PLCのプログラムをテーブル化したデータを処理するようなロジックにした結果、非常に安定なシステムと成り得た。このようにシーケンスを複雑にしないようなプログラムにする工夫をすれば、PLCをローカルな自動制御に幅広く使用できると思われる。今後は、このようなPLCのシステムを加速器の制御システムに安定に、かつ効率良く接続することを考えていく予定である。

## 参考文献

- [1] 新竹積 “SPring-8 SCSS計画(X線FEL技術開発)の現状”, 本研究会
- [2] 稲垣隆宏 “C-band チョークモード型加速管の高電界試験”, 本研究会
- [3] 加藤龍好 “FL-net上に構築されたPLCベースの加速器制御システム”, Proceedings of the 28<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan.
- [4] 高橋直 “C-band加速管の精密温調システム”, 本研究会
- [5] 松本浩 “Dark Currents”, Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Linac Conference, Linac1996.