

## PLC control of J-PARC LowLevel RF System

Hiroyuki Suzuki<sup>1,A)</sup>, Etsuji Chishiro<sup>A)</sup>, Takashi Ito<sup>A)</sup>, Tetuya Kobayasi<sup>A)</sup>, Hasegawa Kazuo<sup>A)</sup>, Shozo Anami<sup>B)</sup>,  
Seiya Yamaguchi<sup>B)</sup>, Shinichiro Michizono<sup>B)</sup>, Zhigao Fang<sup>B)</sup>, Fujio Naito<sup>B)</sup>, Yuji Fukui<sup>B)</sup>, Hirokazu Tanaka<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

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

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

New programs, such as slow-start, quick-recovery, and auto-tuner functions, had been added into the PLC of the J-PARC LINAC LLRF. By using this software, absolutely necessary functions, such as the cavity-tuning and interlock-recovering can be carried out automatically in the commissioning of beam acceleration.

## J-PARC LLRFのPLC制御

### 1. はじめに

J-PARC LinacはKlystron20台、半導体アンプ4台、計24台の低電力高周波システム(以下「LLRF」と呼称)がある。これらを制御するためProgrammable Logic Controller (以下「PLC」と呼称)が使われており、2006年10月からのビーム試験から様々な機能の修正や追加を行ってきた。今年に入って、自動チューナ制御、SlowStart制御、QuickRecovery制御を新たに追加した。この3つの機能の追加でLLRFのPLC制御は自動制御出来るようになり、より安定したビーム加速運転が可能になった。本発表ではこの3つの機能について報告する。

### 2. LLRFの自動制御の構成

図1の低電力高周波システム<sup>[4]</sup>のブロック図を使って説明する。自動制御の構成はTUNER PLCやcPCI、FastInterlock、LLRF PLCなどが連携することでこれらの機能を実現している。例えばTUNER PLCはチューナの制御を高精度で行い、cPCI<sup>[1][2]</sup>はデジタルフィードバックシステム<sup>[4]</sup>で高周波の安定化やTANK内の共振周波数の検出などを行っている。更にFastInterlockは確率的におこるアークやVSWRなどのアラーム動作を検知し、高速にRFを遮断する機能を持っている。これらの機器を統括的に制御するのがLLRFのPLCである。

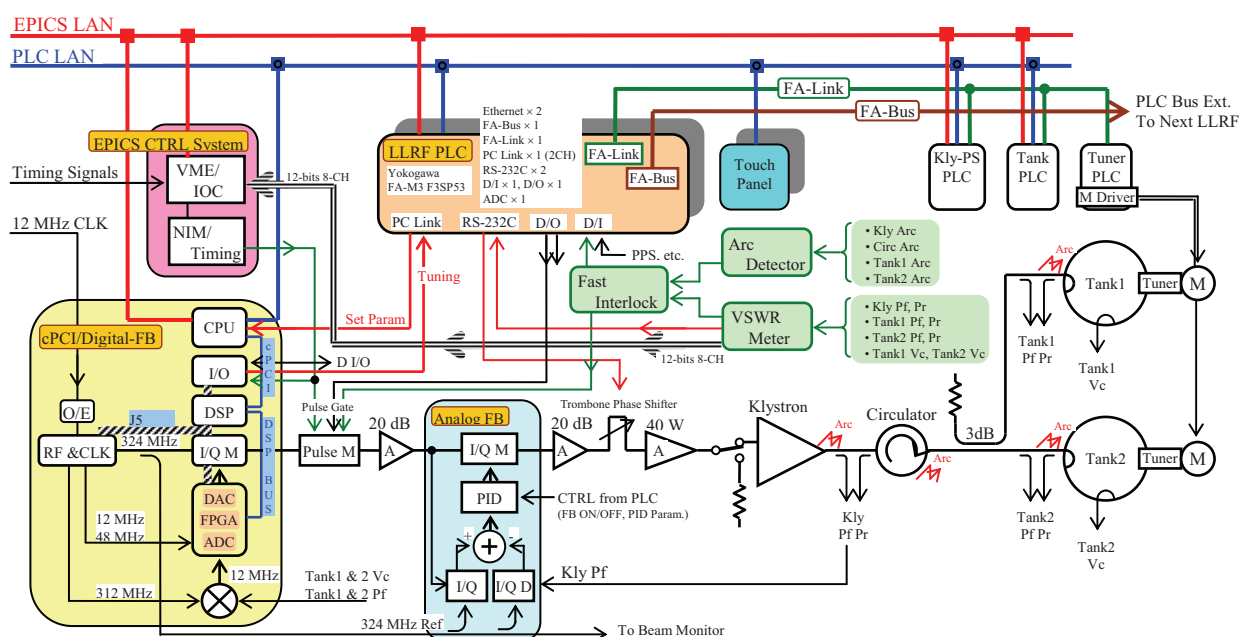


図1 低電力高周波システムのブロック図

<sup>1</sup> E-mail:suzuki.hiroyuki65@jaea.go.jp

### 3. PLCを使った自動制御について

LLRFの自動制御（自動運転）を実現するには次の3つの機能をPLCへ新たに組み込む必要がある。

- ・ TANKにRFを入れるとパワーに応じTANK内の温度が変化し最終的には共振周波数がずれる。それを自動で補正する事が必要になる。（自動チューナ制御機能）
- ・ TANKが冷えてしまった場合などは、RFをONにしてもいきなりビームが加速出来るパワーまでは入らない。その為、ある程度低いパワーから徐々にパワーを上げてゆく機能が必要である。（SlowStart制御）
- ・ ビーム加速運転時の高周波源のインターロックによるビーム遮断は加速器全体に影響を与える。瞬時に復帰させる事で影響を少なくする事が大切である。（QuickRecovery制御）

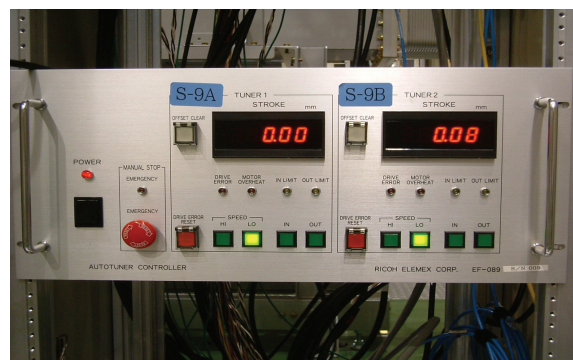


写真2：チューナコントローラPLC

### 4. PLCの3つの自動制御

#### 4.1 自動チューナ制御

自動チューナ制御はLLRFタッチパネルのチューナ制御画面（写真1）に設けられた自動制御ボタンをONにする事で、自動チューナ制御になりチューナのコントロールはすべてcPCIからの制御下に置かれる。共振周波数のズレの検出にはTANKに入る入力電力信号とTANK内の加速電圧信号をcPCIで計測し位相差を検出して補正したチューナ位置をLLRFのPLCを通してチューナコントローラPLC(写真2)へ送る。チューナコントローラはTANKに設置されたAUTO TUNER (写真3)を動かし共振周波数を調整するようになっている。また、チューナ制御に必要な各種パラメータはLLRFのタッチパネルで行い、PLCからcPCIへ引き継がれる。また、離調や感度の設定などはその都度反映される。cPCIとチューナコントローラの通信頻度は約1S~2S程度で行われ設定された位相値（離調）の範囲内に入るようAUTO TUNERを常にコントロールするようになっている。また、必要によっては自動制御をOFFにすると、タッチパネルやコントローラ本体からの手動操作が可能になる。

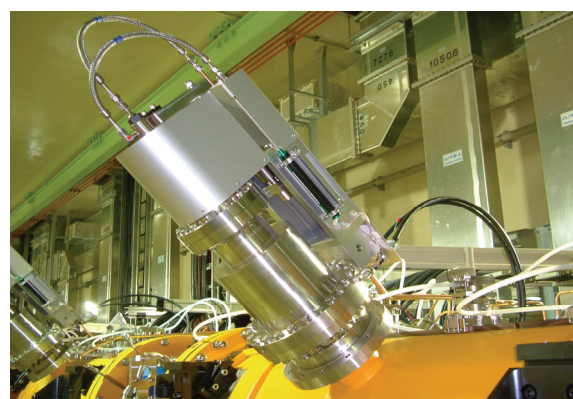


写真3 AUTO TUNER外観図

#### 4.2 SlowStart制御（スロースタート制御）

SlowStartをONにすると、連動して自動チューナ制御が起動する。これは、段階的にパワーを上げていく時にチューナが追従するのを待ってから上げる事で、その時その時の最適なチューニングを行ない、反射やVSWRなどのインターロックでフォルトするような事がないようにする為でもある。また、SlowStartのONと同時にチューナ位置をコールド（初期TANK共振位置）に戻す動作も行っている。それからRFをONにする事によって設定されたパラメータに従ってcPCIが制御を開始する。最初のRFの立ち上がりは振幅設定値の7%から始まり、設定された段数（ステップ数）と時間（上昇時間）でRFを上げていく。加速出来る電圧まで到達すると1分程度のウェイトをおいて、SlowStartは終了される。この1分間はTANK内の温度が安定しチューナが共振周波数のズレを補正し収束するまでの待ち時間である。またSlowStartが終了するとQuickRecovery制御が起動するようになっている。その他に、デジタルフィードバックを何段階目（ステップ数）からONさせるのかなどの設定も出来る。SlowStart制御をOFFにしてRFをONにすると振幅設定値の最大パワーでRFが立ち上がる。図2はSlowStartでRFを立ち上げた

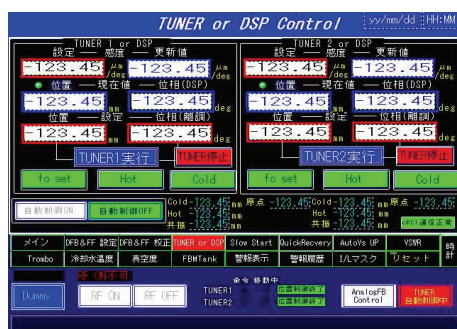


写真2：LLRFチューナ制御画面

きの波形である。設定はステップ数20段、上昇時間90秒でパラメータを設定している。所々段差が歪んでいるのは自動チューナ制御でAUTO TUNERが動いている為である。

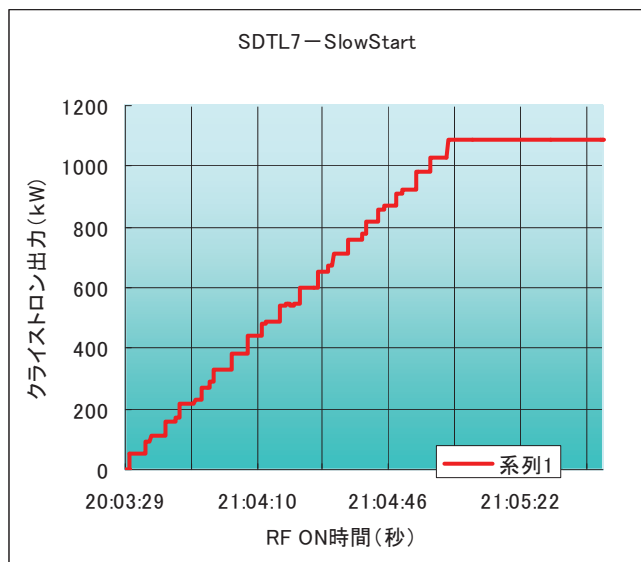


図 2 : SlowStartの波形

#### 4.3 QuickRecovery制御 (自動復帰制御)

QuickRecovery制御はインターロックが発生してから、わずか0.3Sで警報をリセットし最短0.5S後にはRFが自動で立ち上がる機能である。この機能によりTANK内の温度変化も最小限に抑えられ、短時間でビーム加速が可能になる。

RFを再立ち上げるか、そのままQuickRecoveryを解除してRFを遮断したままにするのかの判断はインターロックの種類をPLCが瞬時に識別している。インターロックの識別には、すぐに復帰しても高周波制御に影響がないFastInterlockからの信号としている。FastInterlockに入力されるインターロックには大電力で確率的に起こりうるものでKlystronのPf, Pb, VSWR、TANK1or2のPf, Pb, VSWR、Klystronアーク、サーキュレータアーク、TANK1or2アークなどの信号である。その他のフォルト、例えば真空度異常、Klystron電源異常、冷却水の断水、過電圧、過電流などについては自動に復帰してはならないインターロックである。つまりFastInterlock以外からのインターロックは直ちにRFを遮断し、QuickRecoveryは解除されるようになっている。

また、自動復帰頻度を設ける事により、過剰な自動復帰回数を防止する事も必要で、自動復帰頻度の設定は最初のインターロックから何分間 (監視時間) の間にインターロックが何回以上動作したらQuickRecoveryを解除するという設定になっている。また何秒後にRFを再投入するかなどと言った事の設定も出来、各設定値の範囲は監視時間が1~99分、フォルトの回数は1~99回、RFの再投入時間は0.5s~99.9sの範囲内で選べるようになっている。また、

当初は SlowStart時も、Recovery機能をONにして制御する事を考えていたが、先に述べたようにSlowStart中はフォルトする頻度が殆どないため、Recovery機能は外した。現在の自動復帰頻度の設定は、監視時間が1分、フォルトの回数は5回、RFの再投入時間は1.0sとなっている。

図 5 にQuickRecoveryの設定画面を載せる。



写真5 : QuickRecovery設定画面

## 5. まとめ

LLRFのPLC制御は自動チューナー制御、SlowStart制御、QuickRecovery制御が正常に機能し、ビーム加速運転や夜間のTANKのエージングにも問題なくその機能を発揮し自動による制御が出来ている。EPICSからの遠隔操作による制御試験も無事終了し、9月からは完全なリモート操作によるビーム加速運転に入る予定である。クライストロンの高圧電源異常 (CROW誤動作) によるダウンもなくなり高周波源としても非常に安定してきた。

## 参考文献

- [1] S.Anami, et al., "J-PARC Linac Low Level RF Control", Proc of the 29<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan Funabashi, (August 4-6, 2004)
- [2] S. Michizono et al., "PERFORMANCE OF A DIGITAL LLRF FIELD CONTROL SYSTEM FOR THE J-PARC LINAC", Proc. of LINAC 2006, Knoxville, Tennessee USA, 2006
- [3] T.Kobayashi et al., "Performance of J-PARC Linac RF System", this conference
- [4] Z.Fang et al., "RF FEEDBACK SYSTEMS OF THE J-PARC LINAC", this conference