

J-PARC リニアック 高周波源制御システムの現状

PRESENT STATUS OF RF CONTROL SYSTEM AT J-PARC LINAC

福井佑治^{#,A)}, 二ツ川健太^{A)}, 方志高^{A)}, 川村真人^{A)},
佐藤文明^{B)}, 篠崎信一^{B)}, 堀利彦^{B)}, 千代悦司^{B)}, 鈴木浩幸^{B)}
Yuji Fukui^{#,A)}, Kenta Futatsukawa^{A)}, Zhigao Fang^{A)}, Masato Kawamura^{A)},
Fumiaki Sato^{B)}, Shinichi Shinozaki^{B)}, Toshihiko Hori^{B)}, Etsuji Chishiro^{B)}, Hiroyuki Suzuki^{B)}
^{A)} High Energy Accelerator Research Organization
^{B)} Japan Atomic Energy Agency

Abstract

In order to upgrade beam energy of linac from 181 MeV to 400 MeV, the ACS cavities and the new RF sources were installed in the maintenance period of summer of 2013. We started preparation of the 972MHz RF Control systems, which consist of RF control network, Low Level RF control system, klystron power supply control system and cavity monitor system, from 2011 and had finished installing to all ACS stations in October, 2013. The ACS #16 and #17 stations were used as a klystron test station and high power test for 972 MHz klystrons was done there for five months. The current status of RF control systems and the operating experience, mainly PLC control, are described on this report.

1. はじめに

J-PARC リニアックでは RCS に入射するビームエネルギーを 181MeV から 400MeV へ増強するため 2013 年の夏季メンテナンス期間に、ACS 空洞および高周波源のインストールを行った。972MHz 用高周波源制御システムにおいては、ACS#21 ステーション (ACS 空洞、972MHz クライストロン用 RF コンポーネントの試験等を行うテストスタンド) や ACS#16、ACS#17 ステーション (972MHz クライストロンの試験を行うテストスタンド) を先行して立ち上げ、2013 年 11 月の ACS 空洞コンディショニング開始までにはエネルギー増強に必要なすべてのステーション (Buncher1-2、ACS01-21、Debuncher1-2) へのインストールを完了した。高周波源制御システムは低電力 RF (LLRF) 制御システム、クライストロン電源制御システム、空洞監視システムなどから構成されており、それらのシステムは主に PLC (Programmable Logic Controller) で制御されている。972MHz 系 RF 制御システムを増設するにあたっては、これまでの 4 ステーションを一つの CPU で制御する方式から、ステーション毎に CPU を持たせて独立した制御を行うように変更を行い、それに伴って各システム間の接続構成も変更した。本発表では高周波源制御システムの現状およびこれまでの運転状況について報告する。

2. リニアックビーム増強への対応

972MHz 用高周波源制御機器のインストールおよび各システム同士を接続するネットワークの敷設は 2011 年の夏季メンテナンス期間から行っており、2013 年のメンテナンス時には、ビーム運転を継続する都合上、これまで作業を進めることができなかつ

た ACS#3 (旧 Debuncher1)、Debuncher2 のネットワークの敷設や残作業を行った。2013 年 5 月には ACS#16、#17 ステーションでクライストロンの大電力試験をするためのテストスタンドを立ち上げ、2013 年 10 月の空洞エージング開始まで試験が行われた。

2.1 972MHz 高周波源制御ネットワークの構築

972MHz 高周波源ネットワークはクライストロン電源、LLRF、空洞、チューナーコントローラの各制御システム間を接続するネットワークである。Figure 1 に示すようにリニアック制御室から光イーサネットケーブル (280mから 450m長の MI 光ケーブル 8 本) を 4 ステーション毎に 1 台設置してあるメディアコンバータまで敷設し、そこから各ステーションのスイッチングハブがカスケード接続されている。増設した 972MHz 系機器では各ステーション

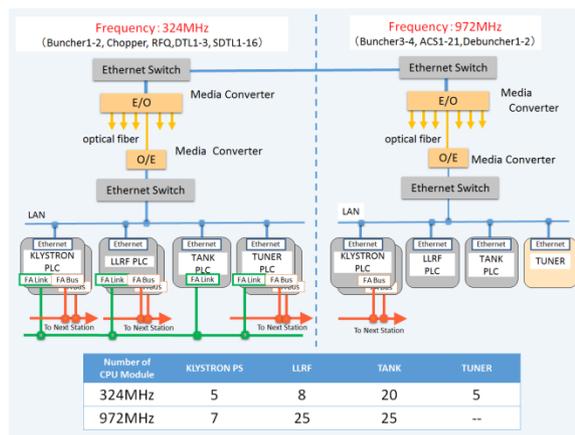


Figure 1: Composition of the 324MHz and 972MHz RF control system network. The table in this figure shows the CPU module used in RF Systems.

yuji.fukui@kek.jp

ビーム運転中以外のもも含めると、PLC モジュールの故障は全部で 17 件発生している。(システムの稼働時間はおよそ 42,000 時間) そのうち 12 件はイーサネットや光リンクなどで発生しており、通信関係での故障が目立つ。イーサネットモジュールは故障の前兆として通信エラーが観測されることがあり交換をする際の目安としている。

Table 1: PLC Module Trouble on User Service Operation

No	Module Type	Date	Station / System	Beam Stop Time Length	Error Status
1	F3SP28-3N, F3LR02-0N	19-May-09	HVDC01/KLY	1h 30m	Bus Module I/O Error
2	F3LR02-0N	26-Jan-12	SDTL02/KLY	1h 49m	Bus Module I/O Error
3	F3CX04-0N	24-Oct-12	DTL2/CAVITY	3h 1m	Temperature module Failure
4	F3LE01-5T	21-Nov-13	SDTL01/LLRF	-	Ethernet Module I/O Error
5	F3YD64-1F	15-Dec-13	SDTL01/KLY	-	Output Relay Module Failure
6	F3LE01-5T	11-Jun-14	SDTL13/LLRF	-	Ethernet Module I/O Error

3.2 ノイズ対策

RF 制御システムにおいてノイズが原因と見られる機器の誤動作が確認されている。一部の不具合はクライストロン高圧電源のトリップと同期して発生していることが確認されており、また最近ではクライストロンやモジュレーティングアノードの不安定性に関する報告もされているので^[2]、これらの近傍の大電力高周波源機器からのノイズが誤動作を誘発している可能性が考えられるが、詳しい原因は現在調査中である。最近発生した事例および対策を以下に示す。

3.2.1 温度測定モジュール

ACS 増強後の 2014 年 1 月以降、ACS#17 から#20 のクライストロン電源制御システムにおいて、集束コイル温度異常によるビーム運転停止が頻発した。調査を進めるとクライストロン集束コイル温度を測定する熱伝対配線の 1 つにノイズが重畳していることが疑われたので、温度測定モジュール周りの信号線および AC100V 電源ラインに対しノイズ対策(分割型フェライトビーズ装着)を行った。類似の現象は 2012 年、324MHz 系 LLRF 制御システムにおいてサーキュレータおよびダミーロード温度異常で発生しており、この時はアナログ入力モジュールの持つフィルター機能(一次遅れローパスフィルター)を設定して対処している。いずれの対策後も、当該箇所においてノイズによる誤発報は発生していない。

3.2.2 チューナーコントローラ

324MHz チューナーコントローラにおいて、チューナー駆動が突然停止し、操作を受け付けなくなる不具合が約 1 ヶ月に 1~2 度の頻度で発生している。この不具合により離調度が大きくなると、下流側の加速器でビームロスの増大を招くことや RF がトリップした後、立ち上がらなくなることもある。現時点の対策としては離調度のステータスを常時端末で監視し、異常があったときにはチュー-

ナー電源のリセットで対応しているが、休日や深夜に発生した際に対応する職員の負担も大きい。今夏のメンテナンスで早急にプログラムの修正を実施する予定である。ノイズ対策などの本質的な対応が今後の課題となっている。

3.3 PPS 信号の取扱いに関する不具合

2013 年 11 月 14 日のメンテナンス終了後、空洞に RF を投入する際に、PPS からの RF 投入許可信号が無い状態で RF が投入されてしまう事象が発生した。LLRF 制御システムでは、機器のメンテナンスを容易にするためにインターロックをマスクできるようになっており、PPS もマスクが可能な仕組みになっていたことが原因である。LLRF 制御システムの運用上、ビーム運転時には上位制御が可能な状態(REMOTE)にすることになっているが、この状態ではすべてのインターロックマスクが外れるロジックになっているのでこれまで不具合を意識していなかった。これを受けてソフトウェア修正および運用面で以下の対策が講じられた。

- PPS をマスク対象から外すようにプログラムを修正する。プログラムの修正が完了するまで、トンネル入域時には、すべてのクライストロン高圧電源を落とす。(2013 年 11 月にプログラム対応済)
- インターロックのマスク状態、上位からの許可信号の状態を端末に常時表示させる。
- PPS 許可信号が無いにもかかわらず RF が投入された時には、中央監視室で異常を知らせる警報を鳴らす。
- メンテナンスなどでインターロックマスクを行うときは、事前に“マスク許可願”を提出する。

4. まとめ

リニアック 400MeV エネルギー増強に対応するため 972MHzRF 制御システムのネットワーク構築、RF 制御システムの整備および大電力 RF テストスタンドの構築を行った。2014 年 1 月の 400MeV ビーム加速開始からおよそ 6 ヶ月が経過したが、増強後の RF 制御システムにおいて大きな問題は発生していない。最近の RF 制御システムの稼働状況を見ると、特に運転時間が長期化している 324MHz 系での不具合が目立つようになった。モジュールの交換やソフトウェアの修正などの対応を迅速に行う体制を整備することに加えて、不具合の兆候の早期発見など、事前の対策を確立していくことにも取り組んでいる。

参考文献

- [1] H. Suzuki, et al., “THE ACS TUNER CONTROLLRE DEVELOPMENT”, Proceedings of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (August 5-7, 2009, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan).
- [2] T. Hori, et al., “IMPROVEMENT FOR THE TRIP RATE OF KLYSTRON HIGH-VOLTAGE POWER SUPPLIES IN J-PARC LINAC”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (August 3-5, 2013, Nagoya, Japan).