

## Data Acquisition System of the 972MHz Klystron Test Stand for J-PARC LINAC

Yuji Fukui<sup>1,A)</sup>, Hiroyuki Suzuki<sup>B)</sup>, Masayoshi Yamazaki<sup>C)</sup>, Tetsuya Kobayashi<sup>B)</sup>, Etsuji Chishiro<sup>B)</sup>,  
Masato Kawamura<sup>A)</sup>, Seiya Yamaguchi<sup>A)</sup>, Fujio Naito<sup>A)</sup>

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

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

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

2-4 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

<sup>C)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045

### Abstract

At the 972MHz klystron test station, we have been performing the various high power tests for the LINAC energy upgrade plan since 2001. In this April, The 972MHz klystron which improved output window and collector was installed in the test station. We constructed the LLRF control system and the data acquisition system at the klystron test station to measure the RF characteristics of this klystron. In this report, we outline this system and present some of experiment results.

## J-PARCリニアック 972MHzクライストロンテストスタンドのデータ収集

### 1.はじめに

J-PARCリニアックは、RFQ、DTL、SDTL空洞から構成され、これらの空洞のRF源として324MHzクライストロンが20台が使用されている。現在このリニアックのエネルギーを今の181MeVから400MeVに増強する計画が進行中であり、実現するとさらに25台の972MHzクライストロンが導入される。

日本原子力研究開発機構原科研内の陽子加速器開発棟地下2階に設置されている972MHz RFテストスタンドは、エネルギー増強計画で使用される972MHz RF機器の大電力試験を行うことができる唯一の施設である。この施設では、これまでに972MHzクライストロンやACS加速空洞のエイジングおよび大電力試験<sup>[1]</sup>、RF立体回路部品（WR975

導波管、サーキュレータなど）のRF特性測定<sup>[2]</sup>などが行われており、実機仕様を決定するための重要な役割を担っている。

今回このテストスタンドに、新たに972MHzクライストロン4号機が設置されハイパワー試験を行うことになった。そこで、今後量産されるクライストロンの測定作業を効率化するため、PLC（Programmable Logic Controller、横河電機製<sup>[4]</sup>）を用いたLLRF制御の自動化およびデータ収集システムの構築を行った。本報告では、このLLRF制御およびデータ収集システムの特徴や、ハイパワー試験の結果について報告する。

### 2. システム構成

#### 2.1 RF機器

クライストロン直流高圧電源は、交流6.6kVで受電した電圧をクライストロンで使用する直流電圧（0~120kV）に変換する機器である。システムを構築する際に、今後ACS空洞の測定試験を行う場合の利便性を考慮し、直流高圧電源制御用PLCをネットワークに接続してリモートで電源のON/OFF、ヒーター電流、電源電圧の設定を行うことができるように変更した。

今回使用した972MHzクライストロン(東芝電子管デバイス社製、E3766、SN0801)は、2001年度に導

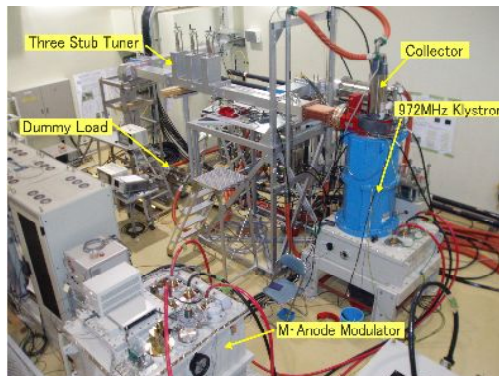


図1：テストスタンドの外観

<sup>1</sup> E-mail: yfukui@post.kek.jp

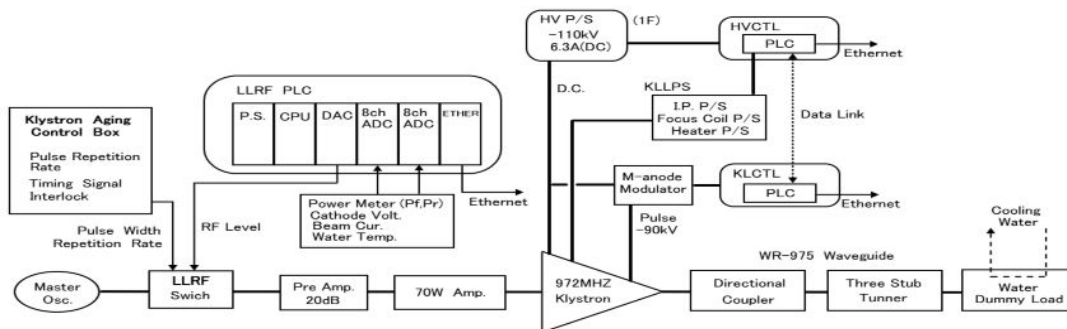


図2：RFシステムの構成

入された初号機から数えて4台目のクライストロンである。この4号機が従来のクライストロンと大きく異なる点は、①コレクタの直径および軸方向の長さが従来機の約半分になっていること、②RF出力窓の冷却方式に間接冷却方式を採用し、直接・間接冷却併用の従来機よりシンプルな構造になっていることなどが挙げられる。(図1参照)

2.2 LLRF制御およびデータ収集

低電力高周波 (LLRF) 制御を図2に示す。SGで生成されたLLRFは、RFスイッチを通過し70Wアンプで増幅されてクライストロンに入力されている。これまでは入力RFのレベル調整をエージング制御盤で行っていたが、今回のシステムではPLCにより自動でRFレベルの調整をするように変更した。これにより連続的に変化するデータの取得が可能となった。クライストロンから出力された高周波電力は、方向性結合器、3スタブチューナーを経由し、ダミーロードに接続されている。

図3にLLRF制御PLCおよびデータ収集システムの構成図を示す。本システムの中核にはPLCを使用している。PLCを使用することで、これまで324MHzのテストスタンドで開発したソフトウェアのノウハウを972MHzテストスタンドに継承することができ、システム構築期間の短縮化を図ることができた。

PCや各PLCは原科研LANを介して接続されている。サンプルホールドされたカソード電圧やクライストロン入出力電力などのデータは、PLCでAD変換後、ネットワークを経由して、SCADA/HMIソフトをインストールしたデータ収集用PCに保存される。こ

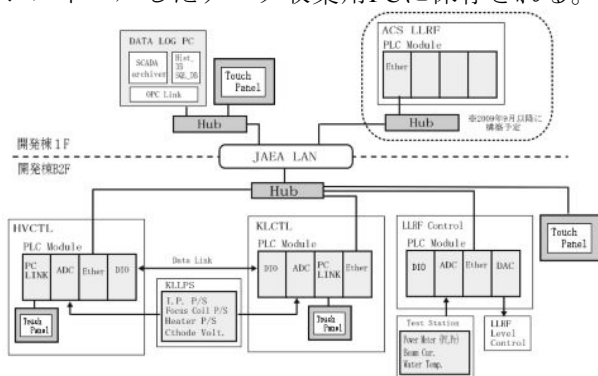


図3：ネットワーク構成

のPCではデータ保存のほか、遠隔で高圧電源の操作、グラフ作成用ファイルの出力を行っている。またインターロック信号などの警報信号はMS-SQL\_DBに保存させており、一覧表示やキーワードで抽出表示させ、不具合時の原因の調査が容易に分かるようになっている。表1に、使用したPLCモジュールの一覧 (LLRF制御用のPLCのみ) を示す。

表1：PLCモジュール

名称	型番	台数
CPUモジュール	SP53-4H	1
ADCモジュール	AD08-1N	2
DACモジュール	DA04-1N	1
Ethernetモジュール	LE01-5T	2
Ethernetモジュール	LE12-0N	1

3. 測定結果

測定ではRFパルスの繰り返し周期50pps、パルス幅600μs (負荷特性では10pps、200μs)、972MHz変調のRFでクライストロンを動作させた。入出力特性を取得する際には、入力RF 0~40Wに対してクライストロン出力を0~3MW (飽和点) まで変化させて測定した。(カソード電圧は80kVから110kVまで2kV間隔) 負荷特性では、3スタブチューナーで位相・VSWRを変化させてRF出力波形を観察した。

3.1 LLRF制御と測定結果

クライストロン大電力試験では、主に入出力特性、瞬時帯域特性、負荷特性を測定し、出力波形の連続性の確認やクライストロンRF特性の評価を行った。

図4にLLRF制御画面を示す。前節でも触れたが、クライストロンの入力RFはLLRF\_PLCで制御されており、真空値やVSWRの値を監視しながら入力RFを増加させていく。LLRF制御画面では、この時の真空閾値の設定やRF増加速度の選択 (超高速、高速、低速、超低速の4段階)、RF出力目標値、測定時間

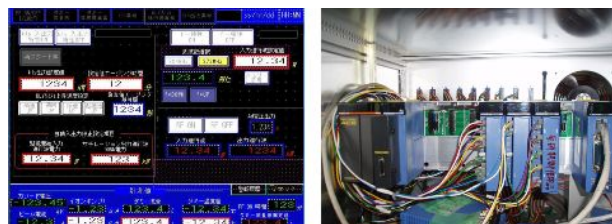


図4：LLRF制御画面(左)とPLC構成(右)

リミット値などが設定可能である。出力が目標値に達しない場合でも、出力が飽和点から設定した値以上減少すると自動収集を強制終了させている。

図5、図6に入出力特性と負荷特性測定時のオシロ波形を示す。入出力特性をみると、カソード電圧が110kVの時に要求されるRF出力電力3MWが得られているのが確認できる。コレクタ、出力窓の改良によるRF特性への影響は、今回の測定では見られなかった。負荷特性からは、発振が起きる位相・VSWRの範囲が、前号機と比較して狭くなっておりクライストロンの性能が向上していることが確認できた。

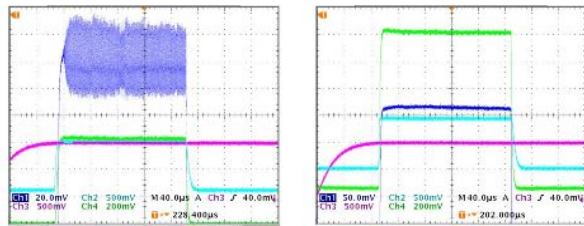


図5：負荷特性測定時のオシロ波形  
左：正常時、右：発振時の出力波形（青：出力RF、水色：反射波、赤：アノード電圧）、  
繰返し周期：10pps、パルス幅200 $\mu$ s

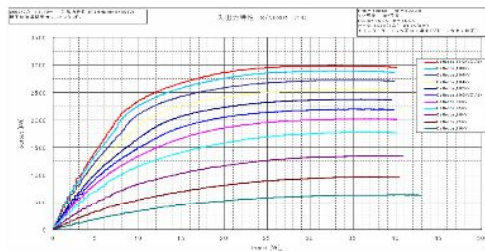


図6：入出力特性

### 3.2 データ収集システム

本システムでは取得するデータの特性に合わせて、(1)低速・長時間のログ（データ収集インターバル：500ms、カソード電圧、冷却水温度・流量などを記録）、(2)高速ログ（インターバル100ms以下、入出力特性データなどを記録）、(3)接点信号、警報信号のログ（イベント発生時に随時保存）を使い分けている。(1)は運転中の全てのアナログ信号（カソード電圧、真空値、ビーム電流、冷却水流量、温度など）を常時記録している。(2)は短い周期で起きる現象（RF入出力電力、ビーム電流の変化など）を記録するために使用し、オペレータから要求があった時だけ記録される。(3)はPLCの接点信号を接点名称や警報状態などの情報として記録しており、接点状態が変化した時にSQL\_DBに保存している。

一回の測定には、高速設定でおよそ5分、低速設定ではおよそ30分かかり、低速ですべてのデータを取得するのに6時間以上を要する。高速設定で測定を行うと、パワーメーターの特性により出力RFの不連続が発生する現象が見られた。この現象は出力が低い領域で顕著に現れるため、出力が低い領域と



図6：PLC監視画面

高い領域で入力RFの上昇速度を適当に変化させる仕組みが今後必要である。本システムにおける一日（約10時間）あたりのすべての履歴ログ蓄積量はおよそ80Mbyteであった。

## 4. まとめ

今回データ収集を自動化したことにより、測定作業の省力化を図ることができ、さらに本システムから得られたトレンドデータから、より詳細な測定データの検証を行うことが可能となった。

9月以降にはACSテスト空洞のハイパワー試験が予定されている。今後は972MHzクライストロンの量産が予想されることから、これらの試験に向けて一層の精度向上を図る予定である。

## 5. 謝辞

本研究を行うにあたり、クライストロンの性能試験およびデータ解析に関してご尽力いただきました、東芝電子管デバイス株式会社の手塚勝彦氏、浦方弘人氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] T.Hori, et al., “Present Status of the 972MHz RF Test Stand for J-PARC 2008” Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan (August 6-8, 2008, Higashihiroshima, Japan)
- [2] T.Hori, et al., “PRESENT STATUS OF THE 972MHZ RF TEST STAND AT J-PARC 2007” Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan (August 1-3, 2007, Wako Japan)
- [3] Y.Fukui, et al., “STUDY OF MEASUREMENT METHOD OF THE KLYSTRON CHARACTERISTICS AT J-PARC LINAC”, Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (August 6-8, 2008, Higashihiroshima, Japan)
- [4] URL: <http://www.fa-m3.com/jp/>