

STUDY OF MEASUREMENT METHOD OF THE KLYSTRON CHARACTERISTICS AT J-PARC LINAC

Yuji Fukui^{1,A)}, Shozo Anami^{A)}, Seiya Yamaguchi^{A)}, Zhigao Fang^{A)}, Masato kawamura^{A)}, Kesao Nanmo^{A)},
Eiichi Kadokura^{A)}, Hiroyuki Suzuki^{B)}, Toshihiko Hori^{B)}, Masayoshi Yamazaki^{B)},
Tetsuya Kobayashi^{B)}, Etsuji Chishiro^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

^{B)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

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

Abstract

The J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) Linac consists of RFQ, DTL1-3 and SDTL1-15. These cavities are driven by 324MHz klystrons. We installed the klystron data acquisition system to measure RF characteristics of klystrons in Toshiba test station and improved this system for measurement of 972MHz klystron used in the Linac 400MeV upgrade plan. In this paper, we present the improvement and some of measurement results of this system.

J-PARCリニアック クライストロン特性の測定方法の検討

1. はじめに

J-PARCリニアックの191MeVまでの加速空洞 (RFQ、DTL1-3、SDTL1-15、DeBuncher1) の高周波源には、M・アノード型324MHzパルスクライストロン (東芝製E3740A) が使用されている^[1]。J-PARCリニアックでは1台の直流高圧電源に対して4台のクライストロンを駆動させる構成となっており、必然的にこの4台のクライストロンは同一の電源電圧で運転されるが、要求される電力は空洞により異なるため、この条件を満たすクライストロンを適切に配置することが安定した電力を供給する上で重要となる。このため、各加速空洞にクライストロンを配置させる前には、テストスタンドで厳密な特性測定を行っており、このことは一昨年の本研究会で報告している^{[2][3]}。

今回、私達は東芝那須電子管工場にあるクライストロンテストスタンド (以下、東芝テストスタンドと記す)

を短期間借用してデータ収集システムを構築し、324MHzクライストロンの特性測定を行った。東芝テストスタンドでJ-PARCテストスタンドとデータ収集系を同じ構成にすることで、両者のデータに整合性を持たせることができ、J-PARC側の測定作業の短縮化を図ることが可能となる。また、今回収集したデータと前回の納入後に行った測定データを比較することで、クライストロンの移設および経年による特性の変化等があれば確認をすることができる。

本発表では、J-PARCリニアックのクライストロンテストスタンドのデータ収集システムを、東芝テストスタンドに構築する際に行った改良点や、測定試験の結果について報告する。

2. 高周波源の構成

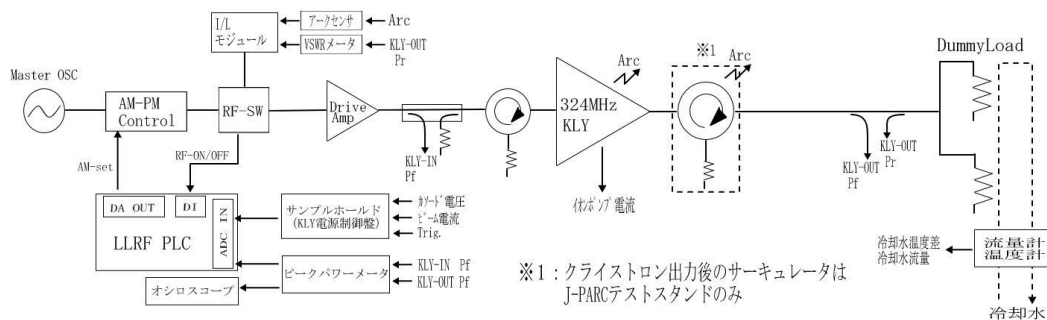


図1：高周波システムの構成

¹ E-mail: yfukui@post.kek.jp

2.1 クライストロン電源

クライストロンの直流高圧電源は、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(0~110kV)に変換する機器である。J-PARCの電源電圧制御には電圧変動の少ない(実測値で±0.2%以下)サイリスタ制御式自動電圧調整器(AVR)が採用されている。東芝テストスタンドの電源電圧の制御方式にはリアクトル結合型電圧制御(IVR)が用いられている。この方式はAVR方式に比べ電源電圧の変動が大きく、この変動を補正するために測定中に電圧の調整を行う必要があり、このことがデータの自動収集を困難にしている。この問題を解決するため、後述するように、データを高速・長時間で取得しておき、データ収集後の解析時に任意の電源電圧で抽出する方法などを試みた。

今回の測定では、これまで加速器運転で使用実績の無い予備の324MHzクライストロン(2002年製造E3740A、LV-ON時間42.0h、HV-ON時間27.4h)を使用した。

2.2 LLRF制御およびデータ収集系

低電力高周波(LLRF)制御を図1に示す。SG、AM-PMモジュレータで生成されたLLRFは、RFスイッチを通過し40Wアンプで増幅、サーキュレータを経由してクライストロンに入力される。J-PARCテストスタンドの場合、このサーキュレータは、クライストロン入力直前に配置されているが、東芝テストスタンドでは機器配置の制約上、サーキュレータとクライストロンの間に同軸ケーブルを使用する構成になっている。

東芝テストスタンドの立体回路構成写真を図2に示す。クライストロンから出力された高周波電力は、サーキュレータ(日高波製、J-PARCテストスタンドのみ使用)を経由し、電力2分割器(J-PARCの場合はハイブリット、東芝ではマジックTを使用)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(Programmable Logic Controller, 横河電機^[4])を使用しており、LLRF制御の他、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もAD変換されてPLCに取り込まれる。データ収集用PCにはInTouch(SCADA/HMIツール、Wonderware社)をインストールし、データの収集やグラフ作成

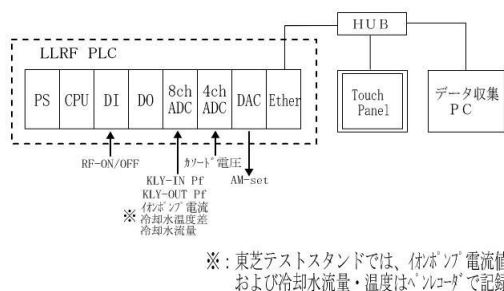


図2：データ収集系の構成

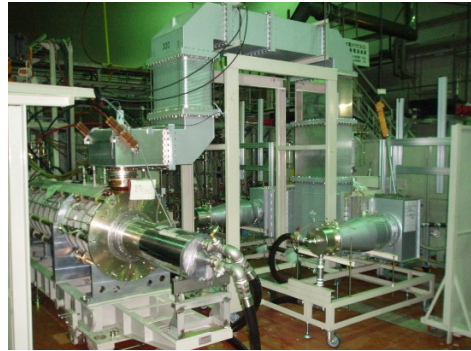


図3：立体回路

用ファイルの出力を行った。収集するデータの特性によって低速・長時間のログ(データ収集インターバル：800ms、カソード電圧、冷却水温度・流量などを記録)、高速ログ(インターバル100ms、入出力特性データなどを記録)を使い分けている。高速で記録したデータはMS-Excelなどで抽出し解析を行った。

3. 測定結果

測定ではパルス繰り返し周期：50pps、パルス幅600μs、324MHz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RF0~25W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、それを異なる電源電圧(105kV、107kV、110kV)で同様に行った。瞬時帯域特性の測定では、電源電圧を107kVに設定し、クライストロン入力を一定にして励振周波数を323MHz~325.6MHzで変化させクライストロン出力を測定した。

3.1 再現性の確認

クライストロン特性の再現性の確認は、今回測定した瞬時帯域特性および入出力特性と、2006年4月にJ-PARCテストスタンドで測定したものとを比較することで行った。図4に瞬時帯域特性を示す。(電源電圧設定値：107kV、クライストロン入力RF：3W、5W、7W)今回測定した値の方が運転周波数(324MHz)付近の利得が高く、中心から離れるほど利得が低くなる傾向が見られたが、ほぼ一昨年の測定データを再現することができた。

図5に電源電圧を105kV、107kV、110kVに設定し

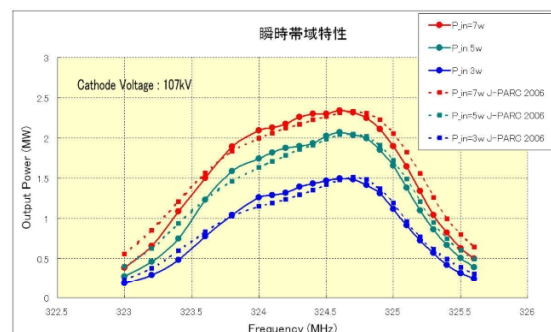


図4：瞬時帯域特性(入力：3W、5W、7W)

た時の入出力特性を示す。クライストロンの負荷や測定機器が異なるため単純に比較はできないが、J-PARCで測定した値に対して入力RFは1.05倍、出力RFは1.09倍すると、今回測定したデータ曲線にほぼ重なることが分かった。電源電圧107kVでは電圧設定値をおよそ0.3kV高く設定していたため、RF出力が増加し再現されなかったと考えられる。

図6はクライストロン入出力のオシロ波形である。J-PARCで2.5MW付近で見られた出力波形の不連続は、今回の測定でも2.3MW付近で同様に観測された。

3.2 入出力特性の解析

図7は通常速度および低速でRF入力を上昇させた時のクライストロン入出力特性である。測定開始当初は、通常速度（入力RFは50mWステップ、0kWから飽和出力までおよそ15分）でRF入力を上昇させて測定していた。カソード電圧で抽出するとRF出力のばらつきはほとんど無くなったが所々に記録されない領域が見られた。（図7a参照）そこで飽和出力（カソード電圧110kVでおよそ3MW）まで通常速度の倍の約30分で達するようにプログラムを変更し再度測定を行うと、0kWから飽和出力までの全域でデータを取得することができた。このデータ抽出操作で測定値のばらつきはかなり抑えることができたが、入出力特性の肩の部分に若干のばらつきが残った。この原因としては何らかのノイズ源が入力RFに影響を与えていることが考えられ、オシロの波形（図6の赤：入力波形を参照）においてもこのノイズは確認された。今後はこのノイズ源の特定やノイズの低減対策を行う必要がある。

4. まとめ

再現性の確認では瞬時帯域特性・入出力特性・オ

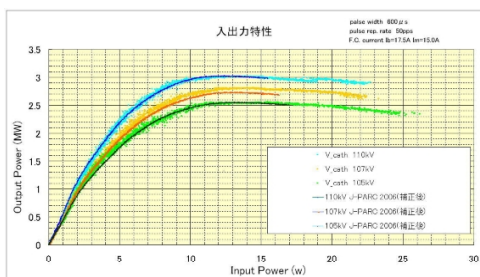


図5：入出力特性（105kV,107kV,110kV）

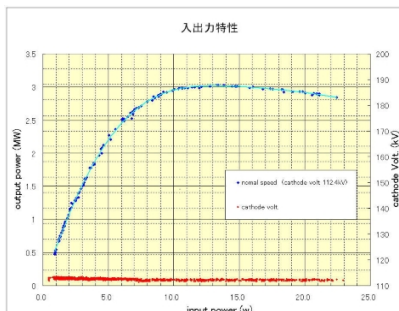


図7a：入出力特性（通常速度）
取得データ点数：650点

シロ波形などを観測し、一昨年のJ-PARCでの測定データと一致することを確認した。この結果からクライストロンの移設や、経年による特性の変化は無いことが実証された。また本システムをJ-PARCとは別の環境に構築することを通して、従来に比べより精度の高いシステムへブラッシュアップを図ることができた。今後は400MeVへのリニアックエネルギー増強計画で採用される972MHzクライストロン^[5]の性能試験に向けて、さらなる精度向上を図る予定である。

5. 謝辞

本システムの構築や測定、データ解析など全般にわたってご尽力頂きました、東芝電子管デバイス株式会社の坂本光徳氏、手塚勝彦氏、浦方弘人氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] K.Tetsuka, et al., “大強度陽子加速器(J-PARC)用324MHzクライストロンの開発”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.372-374.
- [2] M.Yamazaki, et al., “Status of 324MHz RF Test Stand at The J-PARC LINAC” Proceedings of the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
URL: http://www.pasj.jp/web_publish/pasj3_lam31
- [3] Y.Fukui, et al., “Data Acquisition System of 324MHz Klystron Test Stand at J-PARC LINAC” Proceedings of the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
- [4] URL: <http://www.fa-m3.com/jp/>
- [5] T.Hori, et al., “PRESENT STATUS OF THE 972MHZ RF TEST STAND AT J-PARC 2007”, Proceedings of the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, wako, Aug. 1-3,2007 URL: <http://www.pasj.jp/>

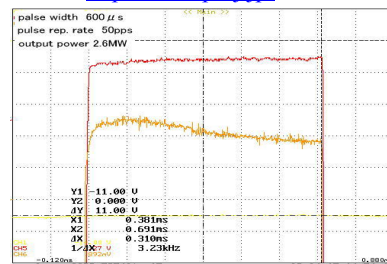


図6：入出力波形 赤：入力波形、橙：出力波形、Vca:107kV、RF出力2.6MW付近

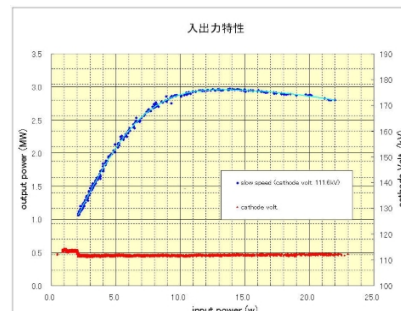


図7b：入出力特性（低速）
取得データ点数：1400点