

PRESENT STATUS OF THE 972MHz RF TEST-STAND 2006

Toshihiko Hori^{1, A)}, Etsuji Chishiro^{A)}, Masayoshi Yamazaki^{A)}, Hiroyuki Suzuki^{A)},
Hiroyuki Ao^{A)}, Kouichirou Hirano^{A)}, Kazuo Hasegawa^{A)}
^{A)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
2-4 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

Abstract

A 972MHz Klystron (tube#3) and the improved Klystron oil tank was installed at the 972MHz RF test stand, and has been confirmed the sufficient performance. The high power RF test of the first ACS module has been carried out from May 2006. The 972MHz RF test stand has been operated for about seventy hours without any troubles.

972MHz RFテストスタンドの現状 2006

1. はじめに

原子力機構原科研内の陽子加速器開発棟B2Fに設置されている972MHz RFテストスタンドは、J-PARCリニアックの高加速部(200MeV以上)で使用される972MHz RF機器の大電力試験が行える唯一の施設である。本年はJ-PARCリニアック棟でのRF機器の据付け、調整作業が本格化したことに伴いその活動は大幅に縮小したが、以下に2005/8~2006/7間の活動状況を示す。

- 2005/8 2号機クライストロンのエイジングと特性試験(3号機受け入れ前の試運転兼ねる)
- /9 新/旧のクライストロンタンク交換作業と3号機クライストロンのインストール&受け入れ確認試験
- 2006/3 3号機のヒータエイジング作業
- /4 3号機のRFエイジング&特性試験
- /5 ACSバンチャー空洞の大電力試験に向けたテストスタンドの調整と試運転
- /6 ACSバンチャー空洞の大電力試験(RFプロセッシング)

2. 972MHzクライストロン3号機

この球は2号機で観測された4.1GHz(カソード電圧106kV以上)の発振を抑制するため、第2空洞のギャップ寸法を25mmとしたもの(2号機と比較し3mm短縮)である。試験の結果、発振周波数が4.25GHzと150MHz高い側にシフトしたこと、発振が開始するカソード電圧値には顕著な差が見られなかったこと、などが明らかになった。しかし2号機同様、設計集束コイル電流値:16Aを4%程度低い値に再調整すると、定格の110kVまで発振は回避できるデータを得ており、実用上は問題なしと結論付けている。図1に3号機クライストロンの代表的な特性として、定格で運転した時の入出力曲線を示す。励振RF電力が23Wの飽和点領域で目標値の3MW出力を得ていること、入出力の連続性が2号機と比較し

て大幅に改善されていること、などを確認した。実機では22本の球が採用される予定であるが、今後の開発方針として、第2空洞の高次モードを抑制するのに最も有効と考えられる空洞のQ値を下げる⁽¹⁾(空洞材質を導電率の小さいものに変更する)新たな空洞の製作を検討中である。

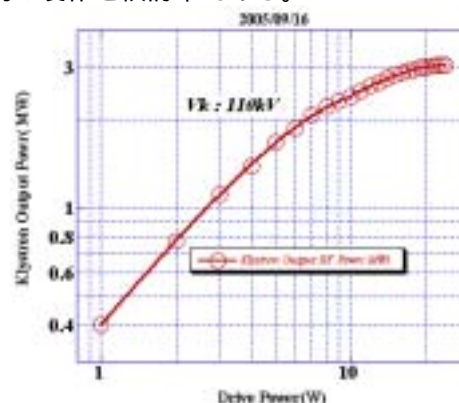


図1. 3号機クライストロンの入出力特性

3. 実機対応のクライストロン用オイルタンク

納期、経済的な制約からクライストロン用オイルタンク初号機は、324MHz用のオイルタンク構造をそのまま流用したものであり、実機での取り扱いを考えた場合、大幅な改造が必要であった。そこで我々は、過去4年間の使用経験で得た知見を最大限に生かした実機対応のオイルタンクを製作し、昨年9月からその評価を開始した。図2にクライストロンが装着された状態での初号機と実機対応オイルタンクの外観図を示す。又、表1には実機対応機の改善点を初号機と比較して示した。

最初にオイルタンクの密封化については、J-PARC建屋に油機器を設置する場合、必須の条件である。その理由は、リニアックの油入機器を全て密封化出来れば、消防法で義務付けられている特殊消化設備の適用が除外されるためである。この方針に

¹ E-mail: hori.toshihiko@jaea.go.jp

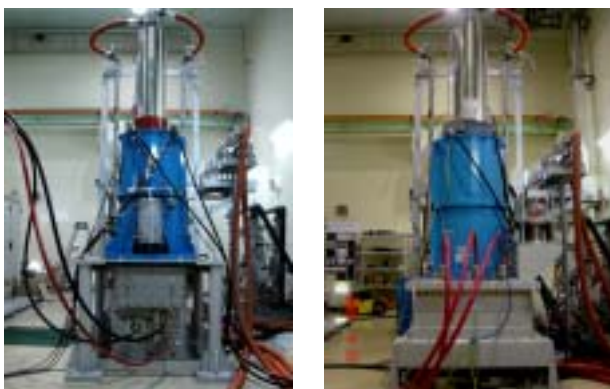


図2．初号機オイルタンク（左）と実機対応オイルタンク（右）の外観

表1．実機対応オイルタンクの改造点

項目	初号機	実機対応機
クワイの端子との接続	ワイナグリード方式	ソケット方式
クワイの基本設計	324MHz用クワイの流用	専用（評価機経験）設計
クワイと架台の構成	分離型	据付調整機構付き一体型
オイル量	約350ℓ	400ℓ以下
高圧ケーブル引き出しの向き	水平方向	垂直方向
オイルリザーバ	開放型	密閉型

沿って、J-PARCリニアック棟のクライストロンギャラリーに据え付けられた324MHzクライストロン用の高圧電源やM-アノード変調器の油機器は全て密封化の改造が施された⁽²⁾。密封することで、油の熱膨張を吸収する構造をもたせなければならぬが、オイルリザーバをベローズ型構造とすることでこれを解決した。

次にM-アノード変調器からの3本の高圧ケーブル（RG220/U）の引き出しの向きの変更については、ケーブルターミネーション（Isolation Product, INC Model D-117-BA）を垂直方向に変更することで、シリコン油の漏れと気泡の量を最小限に抑えることが出来、特に作業環境は大きく改善された。

最後にソケット方式への変更は、球の装着/取り外し作業を簡単に行うためには必須の条件であるとの強い要望から実現したもので、これにより作業手数と作業時間はほぼ半分にまで短縮した。ソケット構造で注意が必要な電極との接触抵抗については、接触部にバネ式接触子を採用し、そのストローク長を10mm以上とすることで、抵抗値の低減を図った。

4．ACSバンチャー空洞の大電力試験

2006年5月8日にバンチャー用のACS空洞初号機が開発棟に輸送され、据付け、調整作業完了後、5月30日より大電力試験が実施された⁽³⁾。我々RFグループは大電力試験に先立ち、空洞グループと共同で



図3．大電力試験直前の実験エリア外観
写真上部には、クライオモジュールが格納されるクリーンルームが、床面にはそれを移動するためのレールが見られる。

立体回路や冷却水システムの一部設計並びに、機器の組立作業などを担当した。図3には、大電力試験直前の実験エリア外観図を示す。このコンクリートシールド内（5m×3m×3.5m）は、開発棟1Fの高エネルギー加速部試験室では唯一の第2種管理区域であり、本来のクライオモジュール大電力試験用の各種装置は、昨年春に再現可能なように全て撤去された。

4.1 大電力試験時の動作パラメータ

今回のテストスタンド動作パラメータを、昨年実施したクライオモジュール大電力試験時と共に、表2に示す。RFパルス幅、パルス繰り返し数は実機での仕様値と合致しており、クライストロン出力のパルス平坦度や電力安定度の要求値も現在の性能範囲内であった。従って今回、特別なR&Dは必要無かったが、クライストロンの低電力RFシステムを初めて空洞グループが構築した。目的は、空洞にRFが入り難かった場合を想定して、バースト状のRF波形（バーストモード運転）を低電力系で生成することであり、他施設でのRFエンジニアリングの経験を生かした機器構成となった。

表2．ACSバンチャー空洞試験時の動作パラメータ

項目	超伝導	ACSバンチャー
RFパルス幅	~ 3ms	~ 0.6ms
パルス繰り返し数	10 ~ 25pps	50pps
クワイの出力電力	~ 300kW	~ 800kW
カソード電圧	75kV	104kV
電力値の可変	カソード電圧	励振RFレベル

4.2 大電力試験時のRF機器構成

図4に試験時の主なRF機器ブロック図を示す。1Fの計測系近傍に設置された低電力RFシステムから生成されたRF信号は、約40m離れたB2FのNIMピン内RFスイッチまで低損失同軸ケーブル(SUHNER

SA17272)で伝送される。このRFスイッチは、励振RFを従来のエージング制御盤(原研自作)以外で生成したために必要となった機器で、新たにクライストロン保護用として組み込んだ。RFスイッチ通過後のRF信号は、70W半導体アンプで44dB増幅(入力: +5dBm以下)されクライストロンを励振する。クライストロン出力は空洞からの要求電力: 600kWに対して1.2倍以上のマージンをとった800kWを目標値とし、これを達成するための励振RFレベルとカソード電圧値との相関を調査した。この測定結果を図5に示すが、例えば数Wの励振レベルを確保できれば、90kV後半の電圧でクライストロンを動作できる。動作電圧を下げることは、球の放電頻度や高圧ケーブル(RG220/U)の耐圧劣化を考えた場合、有用であると考えられ、この方針を基に空洞グループと共同して低電力系機器の構成やレベル調整を試行した。結果、クライストロンの入力レベルを3.4W、カソード電圧設定値を104kV、と決定した。RFのパルス幅とパルス繰り返し数の変更は、リニアモジュレータに入力するパルス発生器により行い又、クライストロン出力の制御はUP/DOWNモジュールの電圧値(0~10V)を変化することで行う。

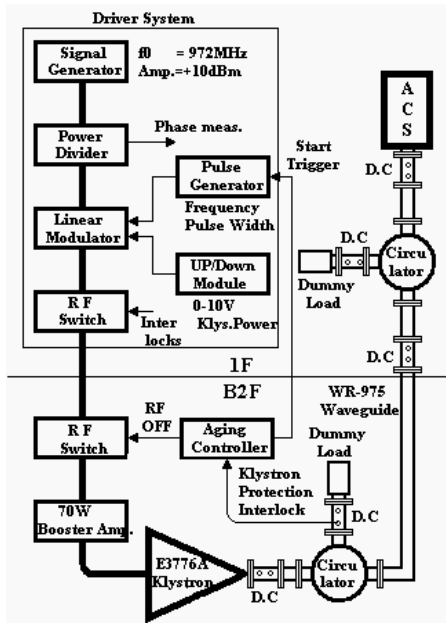


図4. 大電力試験時の主なRF機器構成図

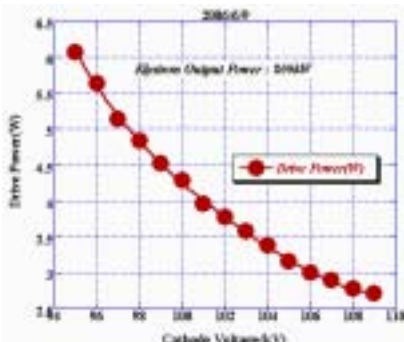


図5. カソード電圧 VS 励振RFレベル

4.3 RFエージングの履歴

ACSバンチャー空洞の大電力試験は5/30~6/8まで8日間、高圧印加時間換算で約70時間行われた。図6に5/31~6/2まで、約27時間のRFエージング履歴を示す。図中縦軸のピーク電力は、クライストロン直後の方向性結合器からのRF信号をDC化した後、校正した値である。初日に20μs、数kWまでのRFパワーが投入された後、2日目から本格的な試験が開始され、4日目に定格の平均電力に到達した。試験開始から35時間であった。エージング手順は50pps一定の条件でパルス幅のみ変えて行われ、バーストモード運転は行われなかった。約70時間の試験期間中、高周波源が原因のRF停止は一度も無く、連続的なRFの供給を行うことが可能であった。

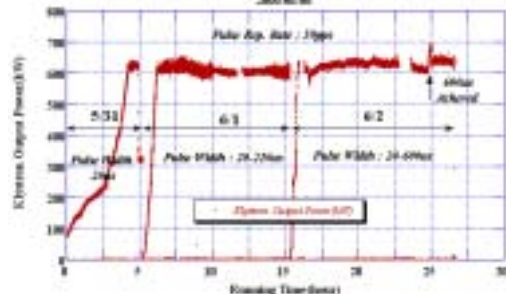


図6. 5/31~6/2日間のRFプロセッシング履歴

5. まとめ

972クライストロン#3号機並びに、実機用オイルタンクの評価を行い、実機で使用可能なデータと実績を得た。バンチャー用のACS空洞初号機の大電力試験に備え、テストスタンド構成機器の整備と各種の調整を行った。5/30から実施された約70時間のRFプロセッシング期間中、高周波源が原因のRF停止は一度も無く、円滑なRF供給を行うことが可能であった。今後の予定として、年度内にACS2号機から4号機までの3台の大電力試験が計画されている。

謝辞

972クライストロンとオイルタンクの評価試験について東芝電子管デバイス株式会社の林健一氏、坂本光徳氏、浦方弘人氏に感謝いたします。972クライストロン3号機とオイルタンクの設計について高エネルギー加速器開発機構の福田茂樹氏、穴見昌三氏、山口誠哉氏、吉田光宏氏に有意義なご助言・ご指導を頂きました。

参考文献

- [1] M.Yoshida, et al., "J-PARC用972MHzクライストロンの発振解析", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tosu, July 20-22, 2005
- [2] E.Chishiro, et al., "J-PARCリニアックにおける高周波源の現状", Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tosu, July 20-22, 2005
- [3] H.Ao, et al., "J-PARC用ACS空洞初号機の大電力試験", 本研究会