

PRESENT STATUS OF THE 972MHz RF TEST STAND AT J-PARC 2007

Toshihiko Hori^{1, A)}, Masayoshi Yamazaki^{A)}, Etsuji Chishiro^{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

The temperature rise of 972MHz Klystron(tube#3) RF Window was measured using an infrared thermometer with a pulse width of 600 μ s, and a repetition rate of 50pps, and a peak power of 2.6MW. The estimated temperature rise at the full RF Power (3MW) would be about 70deg., which is larger than the design value of 30deg..

J-PARC 972MHz RFテストスタンドの活動状況 2007

1. はじめに

原子力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、J-PARCリニアックの高 β 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。本年度(2006/8~2007/7)はJ-PARCリニアックのビームコミッションが本格化したことに伴って、その活動は昨年度同様大幅に縮小したが、以下に主な活動項目を示す。

- ・実機対応のクライストロンオイルバスからの絶縁油漏れ対策
- ・70W半導体アンプ(972クライストロン励振用)の結露対策
- ・ACSバンチャー空洞初号機のRF窓温度再試験
- ・972クライストロン3号機でのRF窓温度試験並びに、立体回路RF機器の温度上昇試験

毎年、昨年度実施した活動項目の中で一番トピックス性の高いものを紹介しているが、本年はクライストロン窓の温度上昇試験について報告する。

2. 窓温度測定背景と経緯

最初に、ACS空洞のRF窓は972クライストロンのRF窓を参考に製作されたものである。昨年のACS空洞大電力試験⁽¹⁾の懸案として、測定されたRF窓の上昇温度が設計値の1/3程度という問題があった。そこで、今年の5月に再度試験を行った結果、RF窓を観測するための覗き穴サイズによって温度係数が異なること、がオフラインでの温度較正で明らかになった⁽²⁾。我々は約5年前に972クライストロン初号機で窓の温度データ⁽³⁾を取得したが、1)初号機クライストロンの発振問題が解決する以前のデータであること、2)温度較正は行っていないこと、などから正確な窓の上昇温度を再測定する必要があった。

これに加え、RF窓の冷却を直接/間接冷却水方式のどちらかに決める時期が迫ってきた。その背景として、J-PARCリニアックの400MeVエネルギー増

強が来年度から実施される公算が高まったことがあり、実機972クライストロンの最終仕様を固めるためにも早期に試験を行う必要があった。

3. 972クライストロンの出力部

RF窓はピルボックスタイプ(導波管:WR975、図1-a)で、材質はHA95(NITK:純度95%のアルミナセラミック)、 $\tan \delta$ が 3×10^{-4} 、直径:286mm、厚さ:10mmで、表面にはマルチパクターを防止するためのTiN薄膜がコーティングされている。出力導波管はコレクタ側ポールピースとコレクタとの間から取り出すため、扁平導波管が使用されている。したがって、ピルボックス窓との間には1段のステップ導波管が使用されており、標準ピルボックス窓+ステップ導波管構造である。

窓冷却水の直接/間接方式の切り替えは、図1-bに示す3方弁を90°回転することで行う。セラミックディスク外周部には銅板(~2mm)がロー付けされており、この外周部を冷却するための銅スリーブに水を流す直接方式は除熱効率が反面、1)セラミックディスクと銅板とはロー付けする際に生じるロー切れを防止するためにモリブデンワイヤーが巻かれているが、このモリブデンが長期間使用した場合、冷却水路に腐食を生じさせる可能性が高い⁽⁴⁾



図1-a. セラミック窓



図1-b. 窓の冷却構造

¹ E-mail: hori.toshihiko@jaea.go.jp

こと、2)冷却水送り側圧力はセラミック保護上4kgf/cm²以下であり、冷却水ヘッダ送り側に減圧弁がクライストロンの数だけ必要なこと、などから間接冷却方式での窓温度上昇が50℃程度であれば間接冷却方式を採用するメリットは大きいと考えられる。

4. 窓温度測定時の機器セットアップ

図2に機器のセットアップ図を示す。TH1102型サーモレーサ（日本電気三栄）は非接触の赤外線放射温度計（液体窒素封入型）で、発熱体の温度分布をカラーの熱画像で表示できる。サーモレーサとRF窓の距離は、出来る限り近いほうが伝送経路での散乱・吸収などによる測定誤差をより含まないと考えられる。しかし、今回の測定では立体回路の構成上、1.4m離れた場所にサーモレーサを設置せざるを得ず、この位置からφ20mmの覗き穴を介して窓表面を観測する。このセットアップで観測可能な窓のエリアは窓中心から±110mm(横)×±62mm(縦)の範囲内である。これはWR975導波管の内径が248×124(mm)であるのに加えて、φ20mm穴径での制限も受けるため、観測エリアは全面積比で43%程度である。



図2. RF窓温度測定時の機器セットアップ

5. サーモレーサの較正

図2で示したRF窓とサーモレーサ間のRF機器全てをオフライン上に構築し、別途調達したφ10mmのセラミック試験片にリボンヒータを巻きつけ、そ

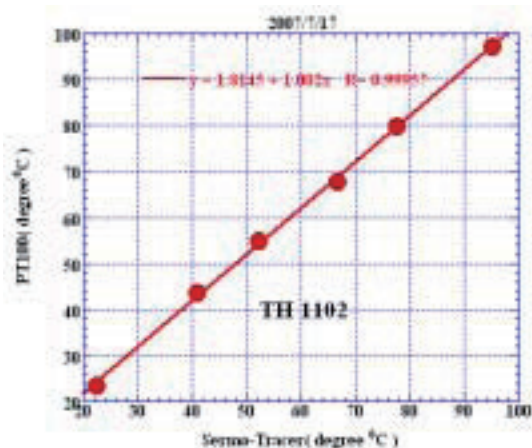


図3. サーモレーサ (TH1102) の較正結果

の表面温度を測温抵抗体(PT100Ω:±0.35℃)と、サーモレーサとで同時計測し較正した。得られたデータを図3に示すが、当初心配された伝送経路での散乱・吸収などによる測定誤差や直線性からのずれなどは無かった。

6. 窓温度測定結果

パルス繰り返し数: 50pps、RFパルス幅: 600μsでクライストロン動作し、RFパワーを0~2.625MWまで0.375MWステップ(定格: 3MWの1/8等分)毎に変化させた時の窓温度上昇を測定した。定格出力での測定は電源の安定性が不十分のため行わず、上記7点のデータから推定した。窓温度の飽和時間はテストスタンド立ち上げ時に2時間、RF出力を変化した時には40分程度であった。

6.1 窓温度測定結果

図4にサーモレーサの代表的な(1.5MW出力時)熱画像を示す。温度分布の中心が一番温度の高い、いわゆる発熱中心で、クロスカーソルの位置が温度測定場所である。今回の測定中、発熱中心の位置が移動することや別の場所に新たな発熱中心が現れることなどは無かったが、発熱中心と形状中心は合致せず、約3cm下がった位置が発熱中心であった。横軸にRFパワー、縦軸に発熱中心の飽和温度をとり、

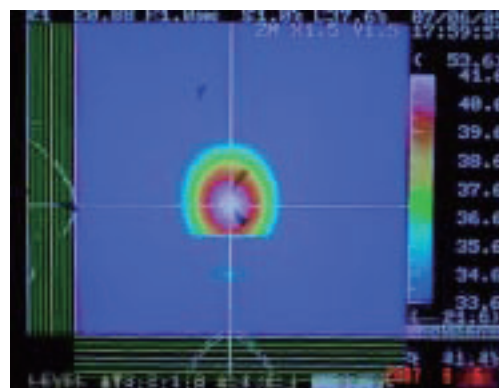


図4. サーモレーサの代表的な画像

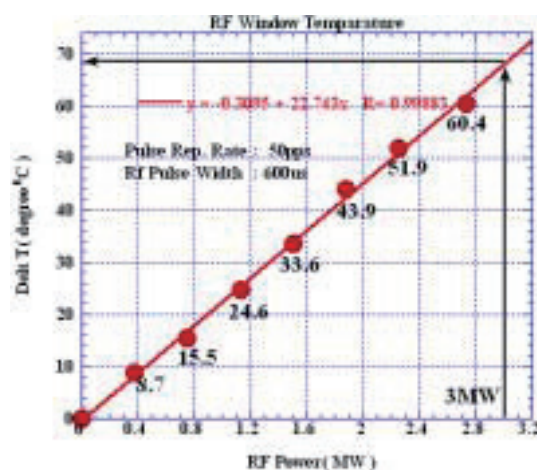


図5. 窓の温度上昇とRFパワー

これらをプロットしたものが図5である。この直線関係から定格運転時の窓の到達温度は95.6°C、温度上昇： ΔT は69°Cと推定される。

図6は発熱中心（図中の横軸0mm）から径方向：110mmまでの温度分布を3つのRFパワー毎にプロットした。この図から定格時の発熱中心と110mm位置での温度勾配： ΔT は50.6°Cと推定される。

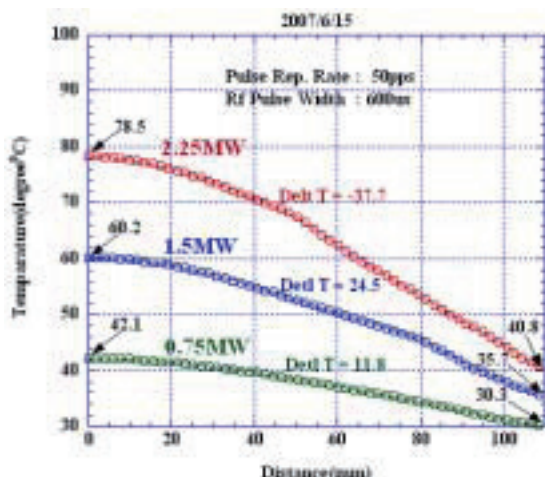


図6. RF窓の温度勾配（熱中心から110mm位置）

6.2 直接／間接冷却方式での測定結果

流量を定格の2l/minとし、冷却方式を直接／間接と切り替え窓温度をモニタしたが、温度の変化は全く生じなかった。又、戻り側冷却水温の温度上昇も0.5°C程度と少なかった。図7は間接冷却方式で、窓の冷却水流量を2～0.2l/minまで5点変化した時の窓温度をプロットしたものである。この測定結果から実機での通常流量は1.5l/minもあれば十分であり、先行して1台のみ製作した972用冷却水ヘッダの窓用流量計は仕様変更無く使えることがわかった。

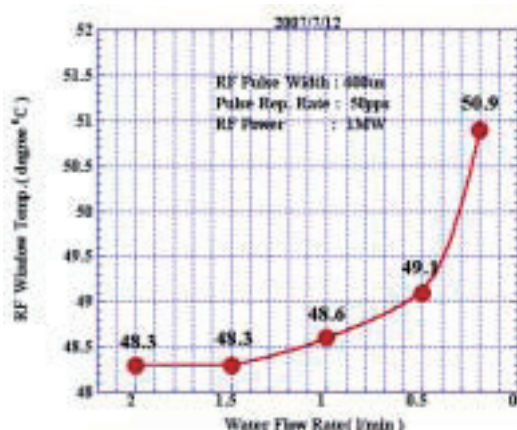


図7. 間接冷却方式でのRF窓流量と温度

7. 考察

窓の発熱中心は形状中心よりも3cm下がった位置であった。この原因について製造メーカーとも協議したが、ステップ導波管の影響による窓の電界分布の

偏りと考えている。ステップ導波管は出力ギャップから直接窓が見えない構造なため、出力ギャップで発生した二次電子やX線などが直接窓に入射せず、窓を保護する上では非常にメリットがある⁽⁵⁾。しかし、発熱中心と形状中心とがずれることによって、半径方向・周方向への熱応力⁽⁶⁾が大きくなることが予想され、より低い温度でクラックが発生（窓の破壊）する原因となるため注意が必要である。

8. まとめと今後

オフライン上でサーモレーサの温度を校正した後、20mmφの覗き穴からRF窓（形状中心から±110mm(横)×±62mm(縦)のエリア)を観測し、飽和温度、発熱中心の位置、温度分布などの基礎データを取得した。結果、定格運転時の温度上昇は約70°C、発熱中心は形状中心より3cm下がった位置にあること、などが明らかになった。今回測定された窓温度は設計値の2倍程度高いことや、発熱中心が約3cmずれる原因について現在調査中である。

窓の冷却方式については、直接／間接の別による窓温度の変化は無かった。その原因についても現在調査中であるが、今回の実験結果から実機では間接冷却方式を採用することに決定した。

今後は、1)、972サーキュレータのフルパワー試験、2) 立体回路の位相測定、3) ACSバンチャー空洞2号機の大電力試験、4) Low-β ACSフルモデル空洞の大電力試験、などの試験を予定している。

謝 辞

972クライストロンの設計データや出荷時性能試験などについて御回答下さったクライストロン製造メーカー：東芝電子管デバイス株式会社の林健一氏、浦方弘人氏に感謝いたします。又、窓温度測定とデータ解析に関して有意義な助言を下さった高エネルギー加速器研究開発機構の山口誠哉助教授、穴見昌三教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] H.Ao, et al., “J-PARC用ACS空洞初号機の大電力試験”, Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001
- [2] K.Hirano, et al., “ACSバンチャー空洞開発の大電力試験”, 本研究会
- [3] M.Yamazaki, et al., “原研972MHz RFテストスタンドの現状”, Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, URL: <http://lam27.iae.kyoto-u.ac.jp/>
- [4] URL: <http://conference.kek.jp/sast03it/WebPDF/1P075.pdf>
- [5] S.Fukuda, et al., “Design and Manufacturing of the L-Band Pulse Klystron for JHP”, Proceedings of the 17th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Sep.1-3, 1992
- [6] S.Yamaguchi et al., “Design of an RF Window for L-Band CW Klystron Based on Thermal-Stress Analysis”, Proceedings of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, July21-23, 1993